

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2007 年 8 月 2 日 (02.08.2007)

PCT

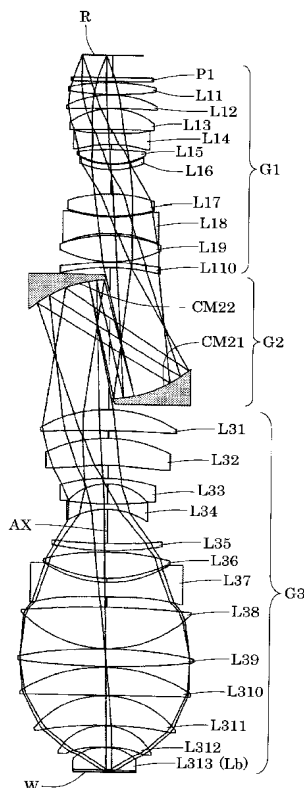
(10) 国際公開番号
WO 2007/086220 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 17/08 (2006.01) G03F 7/20 (2006.01)
G02B 13/24 (2006.01) H01L 21/027 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2006/325711
- (22) 国際出願日: 2006 年 12 月 25 日 (25.12.2006)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2006-020516 2006 年 1 月 30 日 (30.01.2006) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘 (OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田
- 区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 山口 孝雄 (YAMAGUCHI, Takao); 〒1010048 東京都千代田区神田司町二丁目 10 番地 第一ビル Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,

[続葉有]

(54) Title: CATA-DIOPTRIC IMAGING SYSTEM, EXPOSURE DEVICE, AND DEVICE MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 反射屈折結像光学系、露光装置、およびデバイスの製造方法



(57) Abstract: Provided is a cata-dioptric imaging system of a highly numerical aperture, which has its various aberrations satisfactorily corrected by using neither a reflecting surface having an aspherical shape of a high order nor a reciprocal optical element. The cata-dioptric imaging system forms the image of a first plane (R) on a second plane (W), and is constituted to include a first focusing system (G1) for forming a first intermediate image of the first plane on the basis of a light from the first plane, a second focusing system (G2) having two concave reflecting mirrors (CM21, CM22) for forming a second intermediate image of the first plane on the basis of a light coming from the first intermediate image, and a third focusing system (G3) for forming the final image of the first plane on the second plane on the basis of a light coming from the second intermediate image. The two concave reflecting mirrors have long spheroidal reflecting surfaces.

(57) 要約: 高次非球面形状の反射面および往復光学素子を用いることなく諸収差が良好に補正された高開口数の反射屈折結像光学系。第 1 面 (R) の像を第 2 面 (W) 上に形成する本発明の反射屈折結像光学系は、第 1 面からの光に基づいて第 1 面の第 1 中間像を形成する第 1 結像系 (G1) と、2 つの凹面反射鏡 (CM21, CM22) を有し、第 1 中間像からの光に基づいて第 1 面の第 2 中間像を形成する第 2 結像系 (G2) と、第 2 中間像からの光に基づいて第 1 面の最終像を第 2 面上に形成する第 3 結像系 (G3) とにより構成されている。2 つの凹面反射鏡は、長偏球面状の反射面を有する。

WO 2007/086220 A1



CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される
各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 補正書

明 細 書

反射屈折結像光学系、露光装置、およびデバイスの製造方法

技術分野

- [0001] 本発明は、反射屈折結像光学系、露光装置、およびデバイスの製造方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などのマイクロデバイスをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に好適な投影光学系に関するものである。

背景技術

- [0002] 半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスク(またはレチクル)のパターン像を、投影光学系を介して、感光性基板(フォトレジストが塗布されたウェハ、ガラスプレート等)上に投影露光する露光装置が使用されている。露光装置では、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影光学系に要求される解像力(解像度)が益々高まっている。投影光学系の解像力に対する要求を満足するには、照明光(露光光)の波長 λ を短くするとともに、投影光学系の像側開口数NAを大きくする必要がある。そこで、投影光学系と感光性基板との間の光路中に屈折率の高い液体のような媒質を満たすことにより像側開口数の増大を図る液浸技術が知られている。
- [0003] 一般に、像側開口数の大きな投影光学系では、液浸系に限定されることなく乾燥系においても、ペッツバル条件を成立させて像の平坦性を得るという観点から反射屈折結像光学系の採用が望ましく、あらゆる微細パターンへの対応力の観点から有効視野(ひいては有効結像領域)が光軸を含まない軸外視野型の結像光学系の採用が望ましい。従来、露光装置に好適な軸外視野型の反射屈折結像光学系として、2枚の反射鏡を含む3回結像型の光学系が提案されている(特許文献1を参照)。

- [0004] 特許文献1:国際公開第WO2005/069055号パンフレット

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] 特許文献1に開示された従来の反射屈折結像光学系では、軸外視野と光軸とを大きく離間させる必要がなく、矩形状の有効結像領域を確保することが容易である。し

かしながら、特許文献1の従来技術では、第2結像系の瞳の球面収差を補正するために、第2結像系中を構成する反射鏡に高次非球面を用いるか、第2結像系中の2つの反射鏡間に往復光学素子(光線が複数回入射出する光学素子)を用いている。これは、第2結像系の瞳面において第1結像系と第3結像系とでは補償できないほど大きな瞳の球面収差が発生していると、テレセントリシティおよびディストーション(歪曲収差)を十分に補正することが困難になるからである。

[0006] 一般に、高次非球面を加工する際の面計測技術は煩雑であり、高次非球面形状の反射面を有する反射鏡を高精度に製造することは困難である。また、反射面は屈折面に比して、波面収差への寄与が約4倍であり、フレア光量への寄与が約13倍である。したがって、反射面として高次非球面を用いる構成は、たとえば100nm以下の解像力を実現するための光リソグラフィには好ましくない。一方、第2結像系中の2つの反射鏡間に往復光学素子が介在する構成では、光が往復光学素子を3回透過するため、往復光学素子の露光光の吸収に起因して光学系の結像性能が大きく変動し易い。また、大きな露光領域(有効結像領域)を確保しようとする、往復光学素子が大型化し易く、ひいては光学系が大型化し易い。

[0007] 本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、高次非球面形状の反射面および往復光学素子を用いることなく諸収差が良好に補正された高開口数の反射屈折結像光学系を提供することを目的とする。また、本発明は、諸収差が良好に補正された高開口数の反射屈折結像光学系を用いて、微細パターンを忠実に且つ高精度に投影露光することのできる露光装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 前記課題を解決するために、本発明の第1形態では、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折結像光学系において、前記第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成する第1結像系と、2つの凹面反射鏡を有し、前記第1中間像からの光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成する第2結像系と、前記第2中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を前記第2面上に形成する第3結像系とにより構成され、前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系を提供する。なお、本

発明でいう長偏球面 (prolate spheroid) とは、光軸上に長軸がある回転楕円面であつて、後述の数式 (b) で当該長偏球面を表現するときに円錐係数 κ が $-1 < \kappa < 0$ となる面である。

[0009] 本発明の第2形態では、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折結像光学系において、前記第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成する第1結像系と、2つの凹面反射鏡を有し、前記第1中間像からの光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成する第2結像系と、前記第2中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を前記第2面上に形成する第3結像系とにより構成され、前記2つの凹面反射鏡は、互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系を提供する。

[0010] 本発明の第3形態では、第1面の像を第2面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系において、2つの曲面状の反射鏡と複数の屈折光学素子とを備え、前記2つの曲面状の反射鏡のうちの少なくとも1つの曲面状の反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系を提供する。本発明の第4形態では、前記第1面に設定された所定のパターンからの光に基づいて、前記パターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影するための第1形態～第3形態の反射屈折結像光学系を備えていることを特徴とする露光装置を提供する。本発明の第5形態では、第4形態の露光装置を用いて前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程を経た前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイスの製造方法を提供する。

発明の効果

[0011] 本発明の典型的な態様によれば、3回結像型の反射屈折結像光学系において、第2結像系が長偏球面状の反射面を有する2つの凹面反射鏡により構成されている。そして、第1凹面反射鏡の長偏球面状の反射面は、一方の焦点が第1結像系の瞳位置に位置し、他方の焦点が第2結像系の瞳位置に位置するように配置されている。また、第2凹面反射鏡の長偏球面状の反射面は、一方の焦点が第3結像系の瞳位置に位置し、他方の焦点が第2結像系の瞳位置に位置するように配置されている。

[0012] こうして、本発明では、高次非球面形状の反射面および往復光学素子を用いることなく、瞳の球面収差の発生を実質的に抑えて、テレセントリシティおよびディストーションを含む諸収差が良好に補正された高開口数の反射屈折結像光学系を実現することができる。また、本発明の露光装置では、諸収差が良好に補正された高開口数の反射屈折結像光学系を用いて、微細パターンを忠実に且つ高精度に投影露光することができ、ひいては良好なデバイスを高精度に製造することができる。

図面の簡単な説明

- [0013] [図1]本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。
[図2]ウェハ上に形成される静止露光領域と光軸との位置関係を示す図である。
[図3]各実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を示す図である。
[図4]第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
[図5]第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
[図6]第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
[図7]第4実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。
[図8]第1実施例の投影光学系における横収差を示す図である。
[図9]第2実施例の投影光学系における横収差を示す図である。
[図10]第3実施例の投影光学系における横収差を示す図である。
[図11]第4実施例の投影光学系における横収差を示す図である。
[図12]各実施例におけるディストーションを示す図である。
[図13]各実施例におけるテレセントリシティの誤差を示す図である。
[図14]本実施形態の作用および効果を概略的に説明する図である。
[図15]半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。
[図16]液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

符号の説明

- [0014] R レチクル
PL 投影光学系
Lb 境界レンズ
Lp 平行平面板

Lm 純水(液体)

W ウェハ

1 照明光学系

14 主制御系

発明を実施するための最良の形態

[0015] 本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。図1では、X軸およびY軸がウェハWに対して平行な方向に設定され、Z軸がウェハWに対して直交する方向に設定されている。さらに具体的には、XY平面が水平面に平行に設定され、+Z軸が鉛直方向に沿って上向きに設定されている。本実施形態の露光装置は、図1に示すように、たとえば露光光源であるArFエキシマレーザ光源を含み、オプティカル・インテグレータ(ホモジナイザー)、視野絞り、コンデンサレンズ等から構成される照明光学系1を備えている。

[0016] 光源から射出された波長193nmの紫外パルス光からなる露光光(露光ビーム)ILは、照明光学系1を通過し、レチクル(マスク)Rを照明する。レチクルRには転写すべきパターンが形成されており、パターン領域全体のうちX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状(スリット状)のパターン領域が照明される。レチクルRを通過した光は、液浸型の反射屈折結像光学系である投影光学系PLを介して、フォトリソが塗布されたウェハ(感光性基板)W上の露光領域に所定の縮小投影倍率でレチクルパターンを形成する。すなわち、レチクルR上での矩形状の照明領域に光学的に対応するように、ウェハW上ではX方向に沿って長辺を有し且つY方向に沿って短辺を有する矩形状の静止露光領域(実効露光領域;有効結像領域)にパターン像が形成される。

[0017] 図2は、本実施形態においてウェハ上に形成される矩形状の静止露光領域(すなわち実効露光領域)と光軸との位置関係を示す図である。本実施形態では、図2に示すように、光軸AXを中心とした半径Bを有する円形状の領域(イメージサークル)IF内において、光軸AXからY方向に軸外し量Aだけ離れた位置に所望の大きさを有する矩形状の実効露光領域ERが設定されている。ここで、実効露光領域ERのX方

向の長さはLXであり、そのY方向の長さはLYである。したがって、図示を省略したが、レチクルR上では、矩形状の実効露光領域ERに対応して、光軸AXからY方向に軸外し量Aに対応する距離だけ離れた位置に実効露光領域ERに対応した大きさおよび形状を有する矩形状の照明領域(すなわち実効照明領域)が形成されていることになる。

[0018] レチクルRはレチクルステージRST上においてXY平面に平行に保持され、レチクルステージRSTにはレチクルRをX方向、Y方向および回転方向に微動させる機構が組み込まれている。レチクルステージRSTは、レチクルレーザ干渉計(不図示)によってX方向、Y方向および回転方向の位置がリアルタイムに計測され、且つ制御される。ウェハWは、ウェハホルダ(不図示)を介してZステージ9上においてXY平面に平行に固定されている。また、Zステージ9は、投影光学系PLの像面と実質的に平行なXY平面に沿って移動するXYステージ10上に固定されており、ウェハWのフォーカス位置(Z方向の位置)および傾斜角を制御する。Zステージ9は、Zステージ9上に設けられた移動鏡12を用いるウェハレーザ干渉計13によってX方向、Y方向および回転方向の位置がリアルタイムに計測され、且つ制御される。

[0019] また、XYステージ10は、ベース11上に載置されており、ウェハWのX方向、Y方向および回転方向を制御する。一方、本実施形態の露光装置に設けられた主制御系14は、レチクルレーザ干渉計により計測された計測値に基づいてレチクルRのX方向、Y方向および回転方向の位置の調整を行う。即ち、主制御系14は、レチクルステージRSTに組み込まれている機構に制御信号を送信し、レチクルステージRSTを微動させることによりレチクルRの位置調整を行う。また、主制御系14は、オートフォーカス方式及びオートレベリング方式によりウェハW上の表面を投影光学系PLの像面に合わせ込むため、ウェハWのフォーカス位置(Z方向の位置)および傾斜角の調整を行う。即ち、主制御系14は、ウェハステージ駆動系15に制御信号を送信し、ウェハステージ駆動系15によりZステージ9を駆動させることによりウェハWのフォーカス位置および傾斜角の調整を行う。

[0020] 更に、主制御系14は、ウェハレーザ干渉計13により計測された計測値に基づいてウェハWのX方向、Y方向および回転方向の位置の調整を行う。即ち、主制御系14

は、ウェハステージ駆動系15に制御信号を送信し、ウェハステージ駆動系15によりXYステージ10を駆動させることによりウェハWのX方向、Y方向および回転方向の位置調整を行う。露光時には、主制御系14は、レチクルステージRSTに組み込まれている機構に制御信号を送信すると共に、ウェハステージ駆動系15に制御信号を送信し、投影光学系PLの投影倍率に応じた速度比でレチクルステージRSTおよびXYステージ10を駆動させつつ、レチクルRのパターン像をウェハW上の所定のショット領域内に投影露光する。その後、主制御系14は、ウェハステージ駆動系15に制御信号を送信し、ウェハステージ駆動系15によりXYステージ10を駆動させることによりウェハW上の別のショット領域を露光位置にステップ移動させる。

[0021] このように、ステップ・アンド・スキャン方式によりレチクルRのパターン像をウェハW上に走査露光する動作を繰り返す。すなわち、本実施形態では、ウェハステージ駆動系15およびウェハレーザ干渉計13などを用いてレチクルRおよびウェハWの位置制御を行いながら、矩形状の静止露光領域および静止照明領域の短辺方向すなわちY方向に沿ってレチクルステージRSTとXYステージ10とを、ひいてはレチクルRとウェハWとを同期的に移動(走査)させることにより、ウェハW上には静止露光領域の長辺LXに等しい幅を有し且つウェハWの走査量(移動量)に応じた長さを有する領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

[0022] 図3は、本実施形態の各実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を模式的に示す図である。本実施形態の第1実施例、第2実施例、第3実施例および第4実施例では、図3(a)に示すように、境界レンズLbとウェハWとの間の光路が液体Lmで満たされている。本実施形態の第3実施例では、図3(b)に示すように、平行平板LpとウェハWとの間の光路および境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路が液体Lmで満たされている。第3実施例では、図1に示すように、第1給排水機構21を用いて平行平板LpとウェハWとの間の光路中において液体Lmとしての純水を循環させ、第2給排水機構22を用いて境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路中において液体Lmとしての純水を循環させている。第1実施例、第2実施例、第3実施例および第4実施例では、図示を省略した給排水機構を用いて、境界レンズLbとウェハWとの間の光路中において液体Lmとしての純水を循環させている。

[0023] 本実施形態の各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたとき、以下の数式(b)で表される。後述の表(1)～(4)において、非球面形状に形成された光学面には面番号の右側に*印を付している。

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + C_4 \cdot y^4 + C_6 \cdot y^6 + C_8 \cdot y^8 + C_{10} \cdot y^{10} + C_{12} \cdot y^{12} + C_{14} \cdot y^{14} + C_{16} \cdot y^{16} \quad (b)$$

[0024] また、本実施形態の各実施例において、投影光学系PLは、物体面(第1面)に配置されたレチクルRのパターンの第1中間像を形成する第1結像系G1と、第1中間像からの光に基づいてレチクルパターンの第2中間像(第1中間像の像であってレチクルパターンの二次像)を形成する第2結像系G2と、第2中間像からの光に基づいて像面(第2面)に配置されたウェハW上にレチクルパターンの最終像(レチクルパターンの縮小像)を形成する第3結像系G3とを備えている。第1結像系G1および第3結像系G3はともに屈折光学系(反射鏡を含まない光学系)であり、第2結像系G2は2つの凹面反射鏡のみからなる反射光学系である。各実施例の投影光学系PLでは、第1結像系G1、第2結像系G2および第3結像系G3が、鉛直方向に沿って直線状に延びる1本の光軸AXに沿ってそれぞれ配置されている。また、各実施例において、投影光学系PLは、物体側および像側の双方にほぼテレセントリックに構成されている。

[0025] [第1実施例]

図4は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第1実施例にかかる投影光学系PLにおいて第1結像系G1は、レチクル側から順に、平行平板P1と、10枚のレンズL11～L110とにより構成されている。第2結像系G2は、光の入射側から順に、入射側(レチクル側)に長偏球面状の凹面を向けた第1凹面反射鏡CM21と、入射側(ウェハ側)に長偏球面状の凹面を向けた第2凹面反射鏡CM22とにより構成されている。さらに詳細には、第1凹面反射鏡CM21の長偏球面状の反射面および第2凹面反射鏡CM22の長偏球面状の反射面は、光軸AX上に長軸を有する楕円面の一部をそれぞれ構成している。また、第1凹面反射鏡C

M21と第2凹面反射鏡CM22とは、互いに同じ形状の反射面を有する。第1凹面反射鏡CM21は、一方の焦点が第1結像系G1の瞳位置に位置し、他方の焦点が第2結像系G2の瞳位置に位置するように配置されている。第2凹面反射鏡CM22は、一方の焦点が第3結像系G3の瞳位置に位置し、他方の焦点が第2結像系G2の瞳位置に位置するように配置されている。

[0026] 第3結像系G3は、レチクル側(すなわち光の入射側)から順に、レンズL31～L312と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL313(境界レンズLb)とにより構成されている。第1実施例では、投影光学系PLの開口数を変更するための可変開口絞りAS(不図示)がレンズL39とL310との間に設けられている。また、境界レンズLbとウェハWとの間の光路に、使用光(露光光)であるArFエキシマレーザ光(中心波長 $\lambda = 193.306\text{nm}$)に対して1.435876の屈折率を有する純水(Lm)が満たされている。また、境界レンズLbを含むすべての光透過部材が、使用光の中心波長に対して1.5603261の屈折率を有する石英(SiO_2)により形成されている。

[0027] 次の表(1)に、第1実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。表(1)において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率(全系の結像倍率)の大きさを、NAは像側(ウェハ側)開口数を、BはウェハW上でのイメージサークルIFの半径(最大像高)を、Aは実効露光領域ERの軸外し量を、LXは実効露光領域ERのX方向に沿った寸法(長辺の寸法)を、LYは実効露光領域ERのY方向に沿った寸法(短辺の寸法)をそれぞれ表している。また、面番号は物体面(第1面)であるレチクル面から像面(第2面)であるウェハ面への光線の進行する経路に沿ったレチクル側からの面の順序を、rは各面の曲率半径(非球面の場合には頂点曲率半径:mm)を、dは各面の軸上間隔すなわち面間隔(mm)を、nは中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。なお、表(1)における表記は、以降の表(2)～(4)においても同様である。

[0028] 表(1)

(主要諸元)

$\lambda = 193.306\text{nm}$

$\beta = 1/4$

NA=1.3

B=15.3mm

A=3mm

LX=26mm

LY=5mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
	(レチクル面)	50.01731		
1	∞	8.00000	1.5603261	(P1)
2	∞	3.00000		
3	359.35331	26.76601	1.5603261	(L11)
4	-592.06652	1.00943		
5	188.50396	29.51291	1.5603261	(L12)
6	1262.96658	1.00995		
7	131.49913	46.18333	1.5603261	(L13)
8	1954.91132	8.85417		
9*	-10000.00000	25.05028	1.5603261	(L14)
10	231.29705	11.38727		
11	492.35715	31.44530	1.5603261	(L15)
12	-137.11439	2.50246		
13	-132.05403	12.00000	1.5603261	(L16)
14	-154.20197	53.93758		
15	251.52113	48.13618	1.5603261	(L17)
16	-294.59191	2.34885		
17*	-253.52720	36.61701	1.5603261	(L18)
18	227.51555	4.61148		
19	263.71378	59.90928	1.5603261	(L19)
20	-220.31099	1.00000		

21*	352.76853	12.04309	1.5603261	(L110)
22	406.90125	293.41742		
23*	-222.16100	-264.74504		(CM21)
24*	222.16100	289.74504		(CM22)
25	250.00000	46.98417	1.5603261	(L31)
26*	4002.72185	16.84088		
27	265.30702	60.00000	1.5603261	(L32)
28*	300.00030	29.78110		
29	314.24516	12.00000	1.5603261	(L33)
30	101.47918	45.60947		
31	-667.76867	12.00000	1.5603261	(L34)
32*	150.02400	75.84492		
33*	-1480.01243	15.26159	1.5603261	(L35)
34	-577.85202	3.58639		
35	506.51841	59.02683	1.5603261	(L36)
36*	-217.24632	9.05593		
37	-217.83207	32.95317	1.5603261	(L37)
38*	10000.00000	23.21220		
39	1753.21795	90.45811	1.5603261	(L38)
40	-233.97400	1.00000		
41	852.72602	39.29703	1.5603261	(L39)
42	-1372.88421	1.00000		
43	∞	1.00000		(AS)
44	304.44696	62.50392	1.5603261	(L310)
45	∞	1.00000		
46	177.70008	65.77497	1.5603261	(L311)
47*	727.92919	1.00000		
48	106.72650	46.71807	1.5603261	(L312)

49* 244.85259 1.00000

50 93.89038 49.33198 1.5603261 (L313:Lb)

51 ∞ 4.00000 1.435876 (Lm)

(ウエハ面)

(非球面データ)

9面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -1.54796 \times 10^{-7} \quad C_6 = -9.02950 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 6.96112 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 1.56338 \times 10^{-19}$$

$$C_{12} = -3.79854 \times 10^{-23} \quad C_{14} = 3.41001 \times 10^{-27}$$

$$C_{16} = -1.44360 \times 10^{-31}$$

17面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 8.20006 \times 10^{-8} \quad C_6 = -5.36780 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 3.97427 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -3.82028 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 2.62593 \times 10^{-24} \quad C_{14} = -1.11895 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = 2.33726 \times 10^{-33}$$

21面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -5.01452 \times 10^{-8} \quad C_6 = 4.51600 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -7.52486 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.07231 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -7.07040 \times 10^{-26} \quad C_{14} = -2.74751 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 0$$

23面及び24面: $\kappa = -4.61479 \times 10^{-1}$

$$C_4 = 0 \quad C_6 = 0 \quad C_8 = 0 \quad C_{10} = 0 \quad C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0 \quad C_{16} = 0$$

26面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 2.31679 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.49406 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 5.04761 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -3.26396 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 1.14830 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -1.12557 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 0$$

28面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= -1.55615 \times 10^{-7} & C_6 &= 7.43483 \times 10^{-12} \\
C_8 &= -1.08787 \times 10^{-16} & C_{10} &= 1.41061 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -5.47257 \times 10^{-25} & C_{14} &= 4.98826 \times 10^{-29} \\
C_{16} &= -1.68053 \times 10^{-33}
\end{aligned}$$

32面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 8.01855 \times 10^{-8} & C_6 &= -4.66212 \times 10^{-12} \\
C_8 &= -3.58078 \times 10^{-16} & C_{10} &= 1.44294 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= 3.36335 \times 10^{-24} & C_{14} &= -4.29851 \times 10^{-28} \\
C_{16} &= 2.23460 \times 10^{-32}
\end{aligned}$$

33面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 1.00217 \times 10^{-10} & C_6 &= -9.46820 \times 10^{-13} \\
C_8 &= -2.55450 \times 10^{-17} & C_{10} &= 3.64850 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -4.30983 \times 10^{-25} & C_{14} &= 4.04408 \times 10^{-29} \\
C_{16} &= -1.72430 \times 10^{-33}
\end{aligned}$$

36面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 2.30377 \times 10^{-8} & C_6 &= -4.89128 \times 10^{-13} \\
C_8 &= 6.31991 \times 10^{-17} & C_{10} &= -1.10789 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= 1.26552 \times 10^{-27} & C_{14} &= 4.56443 \times 10^{-30} \\
C_{16} &= -1.76708 \times 10^{-34}
\end{aligned}$$

38面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 3.48769 \times 10^{-8} & C_6 &= 2.67315 \times 10^{-13} \\
C_8 &= -7.28249 \times 10^{-17} & C_{10} &= 2.53956 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -4.04906 \times 10^{-26} & C_{14} &= 2.80450 \times 10^{-31} \\
C_{16} &= -2.67181 \times 10^{-37}
\end{aligned}$$

47面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
C_4 &= 5.03939 \times 10^{-9} & C_6 &= -5.13382 \times 10^{-14} \\
C_8 &= -2.86367 \times 10^{-17} & C_{10} &= 3.07565 \times 10^{-21} \\
C_{12} &= -1.33359 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.88674 \times 10^{-30}
\end{aligned}$$

$$C_{16} = -2.54603 \times 10^{-35}$$

49面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 5.39853 \times 10^{-8} \quad C_6 = 6.72332 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -7.01770 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 1.02255 \times 10^{-19}$$

$$C_{12} = -9.46223 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 6.48610 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -1.97332 \times 10^{-32}$$

[0029] [第2実施例]

図5は、本実施形態の第2実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第2実施例の投影光学系PLは第1実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、第1結像系G1が平行平板P1と9枚のレンズL11～L19とにより構成されている点が第1実施例と相違している。第2実施例においても第1実施例と同様に、投影光学系PLの開口数を変更するための可変開口絞りAS(不図示)がレンズL39とL310との間に設けられている。また、境界レンズLbとウェハWとの間の光路に、使用光の中心波長($\lambda = 193.306\text{nm}$)に対して1.435876の屈折率を有する純水(Lm)が満たされている。また、境界レンズLbを含むすべての光透過部材が、使用光の中心波長に対して1.5603261の屈折率を有する石英により形成されている。次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

[0030] 表(2)

(主要諸元)

$$\lambda = 193.306\text{nm}$$

$$\beta = 1/4$$

$$NA = 1.3$$

$$B = 15.3\text{mm}$$

$$A = 3\text{mm}$$

$$LX = 26\text{mm}$$

$$LY = 5\text{mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
-----	---	---	---	------

	(レチクル面)	50.00000			
1	∞	8.00000	1.5603261	(P1)	
2	∞	3.00000			
3	350.00000	26.28641	1.5603261	(L11)	
4	-665.94436	1.00000			
5	172.74138	36.82423	1.5603261	(L12)	
6	-2430.40224	20.92756			
7	667.12691	27.18371	1.5603261	(L13)	
8	-261.03913	1.00000			
9*	-10000.00000	12.00000	1.5603261	(L14)	
10	170.08164	4.71404			
11	209.73456	30.45718	1.5603261	(L15)	
12	-194.43972	6.83284			
13	-894.93083	57.27301	1.5603261	(L16)	
14	-205.97283	13.81931			
15	-618.49866	60.00000	1.5603261	(L17)	
16	-464.22016	40.63089			
17*	-180.28348	12.00000	1.5603261	(L18)	
18	-211.91956	23.32717			
19	-393.40980	40.85830	1.5603261	(L19)	
20	-134.62823	274.86174			
21*	-212.33226	-246.86174		(CM21)	
22*	212.33226	271.86174		(CM22)	
23	250.00000	50.00409	1.5603261	(L31)	
24*	-1455.71002	63.71331			
25	720.36425	53.04919	1.5603261	(L32)	
26*	300.00030	1.00000			
27	147.14257	12.00000	1.5603261	(L33)	

28	99.27543	56.32887		
29	-301.56250	12.00000	1.5603261	(L34)
30*	167.61368	70.32537		
31*	1037.83963	28.10521	1.5603261	(L35)
32	-1013.91442	10.41970		
33	518.14725	60.00000	1.5603261	(L36)
34*	-245.77754	19.81238		
35	-231.71392	12.71220	1.5603261	(L37)
36*	10000.00000	14.42919		
37	1115.84371	91.94920	1.5603261	(L38)
38	-240.84805	1.00000		
39	32668.42319	34.47637	1.5603261	(L39)
40	-635.81012	1.00000		
41	∞	1.00000		(AS)
42	316.97951	58.76507	1.5603261	(L310)
43	∞	1.00000		
44	174.97524	70.86702	1.5603261	(L311)
45*	909.37199	1.00000		
46	107.07381	46.08774	1.5603261	(L312)
47*	256.65177	1.00000		
48	93.23210	47.95872	1.5603261	(L313:Lb)
49	∞	4.00000	1.435876	(Lm)

(ウエハ面)

(非球面データ)

9面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -7.94163 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.12048 \times 10^{-11}$$

$$C_8 = 9.46158 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -3.46518 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = 4.48980 \times 10^{-24} \quad C_{14} = -1.25126 \times 10^{-27}$$

$$C_{16} = 1.06865 \times 10^{-31}$$

17面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -5.07692 \times 10^{-8} \quad C_6 = -2.75751 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -1.96475 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -7.15077 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -3.22240 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 3.95636 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -4.50731 \times 10^{-32}$$

21面及び22面: $\kappa = -5.22296 \times 10^{-1}$

$$C_4 = 0 \quad C_6 = 0 \quad C_8 = 0 \quad C_{10} = 0 \quad C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0 \quad C_{16} = 0$$

24面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 2.07397 \times 10^{-8} \quad C_6 = -3.79394 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 1.57647 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -4.68999 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 7.80825 \times 10^{-27} \quad C_{14} = 1.93892 \times 10^{-32}$$

$$C_{16} = 0$$

26面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -1.21103 \times 10^{-7} \quad C_6 = 4.11617 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 5.23983 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -9.49443 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 3.16472 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -5.66632 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 2.24225 \times 10^{-34}$$

30面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 6.87953 \times 10^{-8} \quad C_6 = -6.93885 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 1.27248 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 9.92890 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -1.57846 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 1.20747 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -4.60400 \times 10^{-33}$$

31面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -7.92258 \times 10^{-9} \quad C_6 = -8.45323 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -6.30202 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.82975 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -2.40696 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.72188 \times 10^{-29}$$

$$C_{16} = -6.30974 \times 10^{-34}$$

34面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 1.91366 \times 10^{-8} & C_6 &= -4.08222 \times 10^{-13} \\ C_8 &= 4.47244 \times 10^{-17} & C_{10} &= -1.28611 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= 1.95615 \times 10^{-26} & C_{14} &= 1.47882 \times 10^{-30} \\ C_{16} &= -5.15398 \times 10^{-35} \end{aligned}$$

36面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 3.65791 \times 10^{-8} & C_6 &= 2.42487 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -7.11218 \times 10^{-17} & C_{10} &= 2.50257 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -4.19556 \times 10^{-26} & C_{14} &= 3.45349 \times 10^{-31} \\ C_{16} &= -1.00445 \times 10^{-36} \end{aligned}$$

45面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.81397 \times 10^{-9} & C_6 &= -1.14961 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -2.72099 \times 10^{-17} & C_{10} &= 3.15197 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -1.41272 \times 10^{-25} & C_{14} &= 3.13451 \times 10^{-30} \\ C_{16} &= -2.85206 \times 10^{-35} \end{aligned}$$

47面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.76732 \times 10^{-8} & C_6 &= 5.86230 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -4.67768 \times 10^{-16} & C_{10} &= 6.56861 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -4.93777 \times 10^{-24} & C_{14} &= 3.36794 \times 10^{-28} \\ C_{16} &= -8.08755 \times 10^{-33} \end{aligned}$$

[0031] [第3実施例]

図6は、本実施形態の第3実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第3実施例の投影光学系PLは第1実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、第3結像系G3のレンズL313(境界レンズLb)の像側に平行平板Lpが付設されている点が第1実施例と相違している。第3実施例においても第1実施例と同様に、投影光学系PLの開口数を変更するための可変開口絞りAS(不図示)がレンズL39とL310との間に設けられている。そして、第3実施例では、境界レンズLbと平行平板Lpとの間の光路および平行平板LpとウェハWとの間の光路に、使用光の中

心波長 ($\lambda = 193.306\text{nm}$) に対して1.435876の屈折率を有する純水(Lm)が満たされている。また、境界レンズLbおよび平行平板Lpを含むすべての光透過部材が、使用光の中心波長に対して1.5603261の屈折率を有する石英により形成されている。次の表(3)に、第3実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

[0032]

表(3)

(主要諸元)

 $\lambda = 193.306\text{nm}$ $\beta = 1/4$

NA=1.3

B=15.3mm

A=3mm

LX=26mm

LY=5mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
(レチクル面)		60.59272		
1	∞	8.00000	1.5603261	(P1)
2	∞	3.00000		
3	350.00000	25.01025	1.5603261	(L11)
4	-1224.92925	1.00000		
5	206.91963	33.55065	1.5603261	(L12)
6	-4382.64940	4.05890		
7	128.14708	51.26364	1.5603261	(L13)
8	-19008.21291	10.73486		
9*	-10000.00000	21.70324	1.5603261	(L14)
10	227.01998	9.85859		
11	536.14092	30.62633	1.5603261	(L15)
12	-180.47868	31.92390		

13	-194.75157	12.48850	1.5603261	(L16)
14	-348.78982	23.42406		
15	677.92639	30.00994	1.5603261	(L17)
16	-228.10790	2.77178		
17*	-217.84784	12.00000	1.5603261	(L18)
18	1368.50810	23.24653		
19	477.30552	52.43548	1.5603261	(L19)
20	-650.67254	36.29231		
21*	-1450.59982	32.45657	1.5603261	(L110)
22	-229.46989	316.04538		
23*	-244.76209	-291.04538		(CM21)
24*	244.76209	316.04538		(CM22)
25	256.69408	26.83267	1.5603261	(L31)
26*	659.71329	1.00000		
27	180.00000	60.00000	1.5603261	(L32)
28*	323.45083	13.25837		
29	-3123.59117	52.76868	1.5603261	(L33)
30	91.75540	34.45029		
31	-13079.55268	12.00000	1.5603261	(L34)
32*	149.99993	49.88931		
33*	-232.46732	27.31503	1.5603261	(L35)
34	-245.25302	15.97419		
35	945.81643	52.25099	1.5603261	(L36)
36*	-242.46539	1.00000		
37	-318.15388	12.60438	1.5603261	(L37)
38*	-749.94000	28.40839		
39*	-484.21460	68.04993	1.5603261	(L38)
40	-187.43622	1.00000		

41	3334.64266	45.38994	1.5603261	(L39)
42	-495.28343	1.00000		
43	∞	1.00000	(AS)	
46	263.22062	73.28068	1.5603261	(L310)
45	∞	1.00000		
46	179.80617	62.56473	1.5603261	(L311)
47*	903.57091	1.00000		
48	116.76198	45.74003	1.5603261	(L312)
49*	332.92051	1.00000		
50	90.79661	34.72878	1.5603261	(L313:Lb)
51	∞	1.00000	1.435876	(Lm)
52	∞	15.00000	1.5603261	(Lp)
53	∞	3.00001	1.435876	(Lm)

(ウエハ面)

(非球面データ)

9面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -6.36223 \times 10^{-8} & C_6 &= -2.78658 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= 3.89619 \times 10^{-15} & C_{10} &= -2.25803 \times 10^{-19} \\
 C_{12} &= 2.81471 \times 10^{-24} & C_{14} &= 4.21124 \times 10^{-28} \\
 C_{16} &= -2.05357 \times 10^{-32}
 \end{aligned}$$

17面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 1.17285 \times 10^{-7} & C_6 &= -7.91844 \times 10^{-13} \\
 C_8 &= -3.72009 \times 10^{-17} & C_{10} &= -5.83288 \times 10^{-21} \\
 C_{12} &= 8.73301 \times 10^{-25} & C_{14} &= -4.24135 \times 10^{-29} \\
 C_{16} &= 7.44152 \times 10^{-34}
 \end{aligned}$$

21面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= -2.79633 \times 10^{-8} & C_6 &= -6.40147 \times 10^{-14} \\
 C_8 &= -1.77090 \times 10^{-17} & C_{10} &= -7.70384 \times 10^{-23}
 \end{aligned}$$

$$C_{12} = 6.05413 \times 10^{-28} \quad C_{14} = -4.82364 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 0$$

$$23\text{面及び}24\text{面: } \kappa = -4.68769 \times 10^{-1}$$

$$C_4 = 0 \quad C_6 = 0 \quad C_8 = 0 \quad C_{10} = 0 \quad C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0 \quad C_{16} = 0$$

$$26\text{面: } \kappa = 0$$

$$C_4 = 1.28304 \times 10^{-8} \quad C_6 = -6.38513 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 2.18379 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -7.21301 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 1.60083 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 6.67071 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 0$$

$$28\text{面: } \kappa = 0$$

$$C_4 = -8.61082 \times 10^{-8} \quad C_6 = 3.70311 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -1.15755 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -1.47959 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 2.24158 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -2.68433 \times 10^{-29}$$

$$C_{16} = 9.21791 \times 10^{-34}$$

$$32\text{面: } \kappa = 0$$

$$C_4 = 1.17328 \times 10^{-7} \quad C_6 = -7.98161 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -8.88398 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 6.34394 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -7.03704 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.11280 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -5.69039 \times 10^{-32}$$

$$33\text{面: } \kappa = 0$$

$$C_4 = -3.26290 \times 10^{-8} \quad C_6 = -2.46812 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.76561 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -9.26317 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 1.88212 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -1.67486 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = 2.14395 \times 10^{-33}$$

$$36\text{面: } \kappa = 0$$

$$C_4 = -2.70469 \times 10^{-9} \quad C_6 = 3.90106 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 8.25231 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -2.50778 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 3.15344 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.47976 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = -4.53768 \times 10^{-35}$$

38面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 3.85119 \times 10^{-8} \quad C_6 = 6.53162 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = -8.58613 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.11815 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -3.24648 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -1.78776 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = 3.61731 \times 10^{-35}$$

39面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -2.07070 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.79234 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -1.10680 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -2.94753 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = 1.12845 \times 10^{-26} \quad C_{14} = -2.12927 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 1.76565 \times 10^{-35}$$

47面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 1.61169 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.18321 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -3.24899 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.02257 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -1.03794 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 1.63372 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = -6.02947 \times 10^{-36}$$

49面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 4.74997 \times 10^{-8} \quad C_6 = 5.30520 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -5.83896 \times 10^{-16} \quad C_{10} = 6.78393 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -5.78534 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 3.15579 \times 10^{-28}$$

$$C_{16} = -9.54421 \times 10^{-33}$$

[0033] [第4実施例]

図7は、本実施形態の第4実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第4実施例の投影光学系PLは第2実施例の投影光学系と類似の構成を有するが、第1凹面反射鏡CM21と第2凹面反射鏡CM22とが互いに異なる長偏球面状の反射面を有する点が第2実施例と相違している。第4実施例においても第1実施例～第3実施例と同様に、投影光学系PLの開口数を変更するための可変開口絞りAS（不図示）がレンズL39とL310との間に設けられている。また、境界レンズLbとウェハ

Wとの間の光路に、使用光の中心波長($\lambda = 193.306\text{nm}$)に対して1.435876の屈折率を有する純水(Lm)が満たされている。また、境界レンズLbを含むすべての光透過部材が、使用光の中心波長に対して1.5603261の屈折率を有する石英により形成されている。次の表(4)に、第4実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

[0034]

表(4)

(主要諸元)

 $\lambda = 193.306\text{nm}$ $\beta = 1/4$

NA=1.3

B=15.5mm

A=3mm

LX=26mm

LY=5.4mm

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
(レチクル面)		50.00000		
1	∞	8.00000	1.5603261	(P1)
2	∞	3.00000		
3	350.00000	26.46669	1.5603261	(L11)
4	-645.53379	1.00000		
5	173.21612	35.96742	1.5603261	(L12)
6	-4461.33635	17.43708		
7	429.14439	29.48354	1.5603261	(L13)
8	-275.94579	1.00000		
9*	-10000.00000	12.00000	1.5603261	(L14)
10	196.20422	8.94774		
11	258.27992	39.92164	1.5603261	(L15)

12	-164.97583	24.02524		
13	-329.36372	13.24024	1.5603261	(L16)
14	-162.64110	1.00000		
15	-326.01876	60.00000	1.5603261	(L17)
16	-427.96564	74.27880		
17*	-217.83502	39.00740	1.5603261	(L18)
18	-209.99644	1.00000		
19	-415.60502	43.09094	1.5603261	(L19)
20	-149.08140	272.96919		
21*	-218.14866	-244.96924		(CM21)
22*	206.74356	269.96924		(CM22)
23	250.00000	60.00000	1.5603261	(L31)
24*	-1807.69717	72.81359		
25	515.58231	17.77536	1.5603261	(L32)
26*	300.00000	1.00000		
27	163.58924	12.00000	1.5603261	(L33)
28	101.14446	51.52417		
29	-394.42597	12.00000	1.5603261	(L34)
30*	167.48287	71.79218		
31*	1770.69500	33.44958	1.5603261	(L35)
32	-944.57367	1.00000		
33	490.43911	62.46956	1.5603261	(L36)
34*	-240.54652	13.42458		
35	-222.80174	20.72182	1.5603261	(L37)
36*	10000.00000	14.05071		
37	1139.46045	92.84277	1.5603261	(L38)
38	-240.80811	1.00000		
39	-5618.39788	33.50378	1.5603261	(L39)

40	-593.54446	8.09015		
41	∞	0.00000	(AS)	
42	315.55302	59.64796	1.5603261	(L310)
43	∞	1.00000		
44	176.29938	71.37651	1.5603261	(L311)
45*	896.05735	1.00000		
46	108.27570	46.41051	1.5603261	(L312)
47*	263.95601	1.00000		
48	93.45630	49.27084	1.5603261	(L313:Lb)
49	∞	4.00000	1.435876	(Lm)

(ウエハ面)

(非球面データ)

9面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -1.01587 \times 10^{-7} & C_6 &= -1.09403 \times 10^{-11} \\ C_8 &= 5.75764 \times 10^{-16} & C_{10} &= 8.43343 \times 10^{-23} \\ C_{12} &= 2.40575 \times 10^{-24} & C_{14} &= -1.14543 \times 10^{-27} \\ C_{16} &= 8.25026 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

17面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= -4.59637 \times 10^{-8} & C_6 &= -1.72557 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -1.10492 \times 10^{-16} & C_{10} &= 3.92199 \times 10^{-22} \\ C_{12} &= -1.76553 \times 10^{-24} & C_{14} &= 1.79310 \times 10^{-28} \\ C_{16} &= -1.29106 \times 10^{-32} \end{aligned}$$

21面: $\kappa = -0.631982$

$$C_4 = 0 \quad C_6 = 0 \quad C_8 = 0 \quad C_{10} = 0 \quad C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0 \quad C_{16} = 0$$

22面: $\kappa = -0.461982$

$$C_4 = 0 \quad C_6 = 0 \quad C_8 = 0 \quad C_{10} = 0 \quad C_{12} = 0 \quad C_{14} = 0 \quad C_{16} = 0$$

24面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 1.84630 \times 10^{-8} \quad C_6 = -6.13960 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 2.05342 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -1.07721 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 2.17679 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.73335 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = 0$$

26面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -1.27015 \times 10^{-7} \quad C_6 = 5.82566 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = 1.75629 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -8.60445 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 1.08176 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 3.03109 \times 10^{-29}$$

$$C_{16} = -1.92607 \times 10^{-33}$$

30面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 7.61507 \times 10^{-8} \quad C_6 = -6.47823 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.61655 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.19893 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -3.46257 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -7.25646 \times 10^{-29}$$

$$C_{16} = 4.06828 \times 10^{-33}$$

31面: $\kappa = 0$

$$C_4 = -4.46513 \times 10^{-9} \quad C_6 = -8.65995 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -8.27019 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 2.27837 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -2.49013 \times 10^{-25} \quad C_{14} = 2.02730 \times 10^{-29}$$

$$C_{16} = -7.62983 \times 10^{-34}$$

34面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 1.78401 \times 10^{-8} \quad C_6 = -4.30308 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 4.97891 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -1.35841 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 2.25891 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.87452 \times 10^{-30}$$

$$C_{16} = -6.96011 \times 10^{-35}$$

36面: $\kappa = 0$

$$C_4 = 3.63510 \times 10^{-8} \quad C_6 = 2.20497 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -6.98444 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.49660 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -4.30453 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 3.75232 \times 10^{-31}$$

$$C_{16} = -1.25235 \times 10^{-36}$$

45面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.41768 \times 10^{-9} & C_6 &= -1.25187 \times 10^{-13} \\ C_8 &= -2.46535 \times 10^{-17} & C_{10} &= 2.91835 \times 10^{-21} \\ C_{12} &= -1.30286 \times 10^{-25} & C_{14} &= 2.86312 \times 10^{-30} \\ C_{16} &= -2.57739 \times 10^{-35} \end{aligned}$$

47面: $\kappa = 0$

$$\begin{aligned} C_4 &= 5.72850 \times 10^{-8} & C_6 &= 5.35881 \times 10^{-12} \\ C_8 &= -3.99564 \times 10^{-16} & C_{10} &= 4.99873 \times 10^{-20} \\ C_{12} &= -2.75405 \times 10^{-24} & C_{14} &= 1.34776 \times 10^{-28} \\ C_{16} &= -6.81632 \times 10^{-35} \end{aligned}$$

[0035] 図8は、第1実施例の投影光学系における横収差を示す図である。図9は、第2実施例の投影光学系における横収差を示す図である。図10は、第3実施例の投影光学系における横収差を示す図である。図11は、第4実施例の投影光学系における横収差を示す図である。図8～図11の収差図において、Yは像高を示している。図12は、各実施例の投影光学系におけるディストーション(歪曲収差;理想像位置からの位置ずれ量)を示す図である。図13は、各実施例の投影光学系におけるテレセントリシティの誤差(レチクル側が理想的にテレセントリックであるときのウェハWへの主光線の入射角)を示す図である。図12において縦軸は像の位置ずれ量(nm)であり、図13において縦軸は主光線の入射角(rad:ラジアン)である。

[0036] 図12および図13において、横軸は像高(mm)であり、実線は第1実施例を、一点鎖線は第2実施例を、破線は第3実施例をそれぞれ示している。図8～図13を参照すると、各実施例では、非常に大きな像側開口数($NA=1.3$)および比較的大きな静止露光領域ER(26mm×5mmまたは26mm×5.4mm)を確保しているにもかかわらず、波長が193.306nmのエキシマレーザ光に対して、テレセントリシティおよびディストーションを含む諸収差が良好に補正されていることがわかる。なお、図12および図13において、第4実施例におけるディストーションおよびテレセントリシティの誤差の表示を省略しているが、第4実施例においても他の実施例と同様にテレセントリシティおよびディストーションを含む諸収差が良好に補正されていることを確認

している。

[0037] このように、本実施形態の各実施例では、中心波長が193. 306nmのArFエキシマレーザ光に対して、1. 3の高い像側開口数を確保するとともに、26mm×5mmまたは26mm×5. 4mmの矩形状の実効露光領域(静止露光領域)ERを確保することができ、たとえば26mm×33mmの矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。また、本実施形態の各実施例では、反射屈折型の結像光学系を採用しているため、大きな像側開口数にもかかわらずペッツバル条件をほぼ成立させて像の平坦性を得ることができる。さらに、有効視野領域(実効照明領域)および有効投影領域(実効露光領域ER)が光軸を含まない軸外視野型の結像光学系を採用しているため、あらゆるパターンへの対応力を確保することができる。

[0038] 特に、本実施形態の各実施例では、第1凹面反射鏡CM21の長偏球面状の反射面の一方の焦点が第1結像系G1の瞳位置に位置し且つ他方の焦点が第2結像系G2の瞳位置に位置するとともに、第2凹面反射鏡CM22の長偏球面状の反射面の一方の焦点が第3結像系G3の瞳位置に位置し且つ他方の焦点が第2結像系G2の瞳位置に位置している。したがって、図14(a)に示すように、第1結像系G1の瞳面の光軸上の点P1からの光線が第1凹面反射鏡CM21の長偏球面状の反射面で反射されて、第2結像系G2の瞳面の光軸上の点P2に集光する。また、図示を省略したが、第2結像系G2の瞳面の光軸上の点P2からの光線は、第2凹面反射鏡CM22の長偏球面状の反射面で反射されて、第3結像系G3の瞳面の光軸上の点に集光する。その結果、第2結像系G2の瞳面において瞳の球面収差が実質的に発生しない。

[0039] これに対して、図14(b)に示すように、球面状の反射面を有する凹面反射鏡CMを用いる構成では、第1結像系の瞳面の光軸上の点からの光線は凹面反射鏡CMを介して第2結像系の瞳面の光軸上の点に集光することがなく、比較的大きな瞳の球面収差が発生する。そこで、従来技術では、第2結像系中を構成する反射鏡に高次非球面(非球面係数の高次項(2次以上)を有する非球面)を用いるか、第2結像系中の2つの反射鏡間に往復光学素子を用いる必要があった。本実施形態の各実施例では、第2結像系中に一对の長偏球面状の反射面(非球面係数の高次項(2次以

上)を含まない非球面)を導入することにより、高次非球面形状の反射面および往復光学素子を用いることなく、瞳の球面収差の発生を実質的に抑えて、テレセントリシティおよびディストーションを含む諸収差が良好に補正された高開口数の投影光学系を実現することができる。

[0040] 長偏球面状の反射面を有する凹面反射鏡CM21, CM22の面計測では、2焦点を利用した球面計測技術を用いることができる。すなわち、ヌル素子などを用いる比較的複雑な非球面計測技術ではなく、図14(c)に示すように、フィゾー光学系100および折返し球面反射鏡101を用いる比較的単純な球面計測技術に基づいて、長偏球面状の反射面を有する凹面反射鏡CM21, CM22を高精度に製造することができる。特に、本実施形態の第1実施例～第3実施例では、第1凹面反射鏡CM21と第2凹面反射鏡CM22とが互いに同じ形状の反射面を有するので、凹面反射鏡CM21, CM22の製造コストの低減を、ひいては光学系の製造コストの低減を図ることができる。

[0041] 一方、本実施形態の第4実施例では、第1凹面反射鏡CM21と第2凹面反射鏡CM22とは、互いに異なる長偏球面状の反射面を有する。ただし、第1凹面反射鏡CM21および第2凹面反射鏡CM22はともに、結像光束を通過させるための開口部を有し、光軸AXに関してほぼ回転対称な曲面の一部に対応する有効反射面を有する。その結果、第1凹面反射鏡CM21および第2凹面反射鏡CM22を、光軸AXからほぼ等しい距離にある複数の位置で、例えば光軸AXに関してほぼ回転対称な複数の位置で支持することが可能になり、従来の手法を用いて光学系の組立ておよび調整を容易に且つ高精度に行うことができる。なお、第4実施例では、第1凹面反射鏡CM21および第2凹面反射鏡CM22がともに結像光束を通過させるための開口部を有するが、これに限定されることなく、第1凹面反射鏡CM21および第2凹面反射鏡CM22のうちの一方が開口部を有する変形例も可能である。

[0042] ところで、本実施形態では、凹面反射鏡CM21, CM22における長偏球面状の反射面が、非球面を表わす前述の数式(b)から非球面係数 C_n を含む高次項($C_n \cdot y^n$)を取り除いた次の数式(a)で表され、円錐係数 κ が次の条件式(1)を満足することが好ましい。

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] \quad (a)$$

$$-0.75 < \kappa < -0.25 \quad (1)$$

[0043] 条件式(1)の上限値を上回ると、長偏球面状の反射面の2つの焦点位置が互いに近づきすぎて、長偏球面状の反射面が球面に近づくため、第1結像系の射出瞳位置または第3結像系の入射瞳位置が第2結像系に近づく必要が生じる。その結果、周辺主光線と光軸とのなす角度が大きくなり、凹面反射鏡の大型化を招くので好ましくない。条件式(1)の下限値を下回ると、長偏球面状の反射面の2つの焦点位置が互いに離れすぎて、長偏球面状の反射面が放物面に近づくため、第1結像系の射出瞳位置または第3結像系の入射瞳位置が第2結像系から遠くなる。その結果、第1結像系および第3結像系において第2結像系側フィールドレンズ群の屈折力を大きくすることが必要になって、瞳の球面収差の補正が難しくなり、ひいてはテレセントリシティとディストーションとを両立させて補正することができなくなるので好ましくない。なお、本発明のさらに良好な効果を得るには、条件式(1)の上限値を -0.35 とし、下限値を -0.65 にすることが好ましい。

[0044] なお、上述の実施形態では、第1凹面反射鏡CM21および第2凹面反射鏡CM22の双方が長偏球面状の反射面を有するが、これに限定されることなく、いずれか一方の凹面反射鏡の反射面を長偏球面状にすることにより本発明の効果をを得ることができる。また、上述の実施形態の第1実施例～第3実施例では、第1凹面反射鏡CM21と第2凹面反射鏡CM22とが互いに同じ形状の反射面を有するが、これに限定されることなく、いずれか一方の凹面反射鏡の反射面が長偏球面状であれば、2つの凹面反射鏡が互いに異なる形状の反射面を有する場合にも本発明の効果をを得ることができる。ちなみに、上述の実施形態の第4実施例では、2つの凹面反射鏡が互いに異なる長偏球面状の反射面を有する。ただし、上述したように、第1凹面反射鏡CM21と第2凹面反射鏡CM22とが互いに同じ形状の反射面を有する構成では、凹面反射鏡の製造コストの低減を図ることができる。この観点によれば、たとえば3回結像型の反射屈折結像光学系において、第2結像系中に互いに同じ形状の反射面を有する2つの凹面反射鏡を配置することは重要である。

[0045] また、上述の実施形態では、第1結像系G1および第3結像系G3が反射鏡を含ま

ない屈折型の光学系として構成されているが、これに限定されることなく、第1結像系G1および第3結像系G3の構成については様々な変形例が可能である。また、上述の実施形態では、第2結像系G2が2つの凹面反射鏡のみにより構成されているが、これに限定されることなく、第2結像系G2の構成については様々な変形例が可能である。

[0046] また、上述の実施形態では、液浸型の反射屈折結像光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、像側の領域に浸液を用いない乾燥型の反射屈折結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。また、上述の実施形態では、光軸から離れた領域のみに像を形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、光軸を含む領域に像を形成する反射屈折結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。また、上述の実施形態では、3回結像型の反射屈折結像光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、2つの曲面状の反射鏡と複数の屈折光学素子とを備えた軸外視野型の反射屈折結像光学系に対しても同様に本発明を適用することができる。

[0047] 上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル(マスク)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図15のフローチャートを参照して説明する。

[0048] 先ず、図15のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ303において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジス

トパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

[0049] その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

[0050] また、本実施形態の露光装置では、プレート(ガラス基板)上に所定のパターン(回路パターン、電極パターン等)を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図16のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図16において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板(レジストが塗布されたガラス基板等)に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

[0051] 次に、カラーフィルター形成工程402では、R(Red)、G(Green)、B(Blue)に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル(液晶セル)を組み立てる。

[0052] セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パ

ターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル(液晶セル)を製造する。その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル(液晶セル)の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

[0053] なお、上述の実施形態では、ArFエキシマレーザ光源を用いているが、これに限定されることなく、たとえば F_2 レーザ光源のような他の適当な光源を用いることもできる。ただし、露光光として F_2 レーザ光を用いる場合は、液体としては F_2 レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル(PFPE)等のフッ素系の液体を用いることになる。また、上述の実施形態では、露光装置に搭載される投影光学系に対して本発明を適用しているが、これに限定されることなく、他の適当な反射屈折結像光学系に対して本発明を適用することができる。

請求の範囲

- [1] 第1面の像を第2面上に形成する反射屈折結像光学系において、
前記第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成する第1結像系と、
2つの凹面反射鏡を有し、前記第1中間像からの光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成する第2結像系と、
前記第2中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を前記第2面上に形成する第3結像系とにより構成され、
前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系。
- [2] 前記長偏球面状の反射面は、一方の焦点が前記第1結像系あるいは前記第3結像系の瞳位置またはその近傍に位置し、他方の焦点が前記第2結像系の瞳位置またはその近傍に位置するように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の反射屈折結像光学系。
- [3] 前記2つの凹面反射鏡はともに長偏球面状の反射面を有することを特徴とする請求項1または2に記載の反射屈折結像光学系。
- [4] 前記2つの凹面反射鏡は互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。
- [5] 第1面の像を第2面上に形成する反射屈折結像光学系において、
前記第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成する第1結像系と、
2つの凹面反射鏡を有し、前記第1中間像からの光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成する第2結像系と、
前記第2中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を前記第2面上に形成する第3結像系とにより構成され、
前記2つの凹面反射鏡は、互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系。
- [6] 前記2つの凹面反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする請求項5に記載の反射屈折結像光学系。
- [7] 前記第1結像系および前記第3結像系は、反射鏡を含まない屈折型の光学系である

ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

- [8] 前記第2結像系は、前記2つの凹面反射鏡のみにより構成されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

- [9] 第1面の像を第2面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系において、

2つの曲面状の反射鏡と複数の屈折光学素子とを備え、

前記2つの曲面状の反射鏡のうちの少なくとも1つの曲面状の反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系。

- [10] 前記2つの曲面状の反射鏡と前記複数の屈折光学素子とは、前記光軸と共軸に配置されていることを特徴とする請求項9に記載の反射屈折結像光学系。

- [11] 前記2つの曲面状の反射鏡は、凹面反射鏡であることを特徴とする請求項9または10に記載の反射屈折結像光学系。

- [12] 前記2つの凹面反射鏡はともに長偏球面状の反射面を有することを特徴とする請求項11に記載の反射屈折結像光学系。

- [13] 前記2つの曲面状の反射鏡は互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする請求項9乃至12のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

- [14] 前記長偏球面状の反射面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、反射面の頂点における接平面から高さ y における反射面上の位置までの光軸に沿った距離(サグ量)を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とするとき、以下の数式(a)で表され、

$$z = (y^2/r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2/r^2\}^{1/2}] \quad (a)$$

前記円錐係数 κ は、 $-0.75 < \kappa < -0.25$ の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至4および請求項6乃至13のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

- [15] 前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、結像光束を通過させるための開口部を有し、光軸からほぼ等しい距離にある複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項1乃至14のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

- [16] 前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、前記光軸に関してほぼ回転対称な複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項15に記載の反射屈折結像光学系。

- [17] 前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、光軸に関してほぼ回転対称な曲面の一部に対応する有効反射面を有することを特徴とする請求項1乃至16のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。
- [18] 前記第1面に設定された所定のパターンからの光に基づいて、前記パターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に投影するための請求項1乃至17のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系を備えていることを特徴とする露光装置。
- [19] 請求項18に記載の露光装置を用いて前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、
前記露光工程を経た前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

補正書の請求の範囲

[2007年5月31日 (31. 05. 2007) 国際事務局受理]

ことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

[8] 前記第2結像系は、前記2つの凹面反射鏡のみにより構成されていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

[9] 前記第1面の像を前記第2面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系であることを特徴とする請求項1乃至8のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

[10] 前記第1乃至第3結像系は、互いに共軸に配置されていることを特徴とする請求項1乃至9のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

[11] 第1面の像を第2面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系において、

2つの曲面状の反射鏡と複数の屈折光学素子とを備え、

前記2つの曲面状の反射鏡のうちの少なくとも1つの曲面状の反射鏡は、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射屈折結像光学系。

[12] 前記2つの曲面状の反射鏡と前記複数の屈折光学素子とは、前記光軸と共軸に配置されていることを特徴とする請求項11に記載の反射屈折結像光学系。

[13] 前記2つの曲面状の反射鏡は、凹面反射鏡であることを特徴とする請求項11または12に記載の反射屈折結像光学系。

[14] 前記2つの凹面反射鏡はともに長偏球面状の反射面を有することを特徴とする請求項13に記載の反射屈折結像光学系。

[15] 前記2つの曲面状の反射鏡は互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする請求項11乃至14のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。

[16] 前記長偏球面状の反射面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、反射面の頂点における接平面から高さ y における反射面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とすると、以下の数式（a）で表され、

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] \quad (a)$$

前記円錐係数 κ は、 $-0.75 < \kappa < -0.25$ の条件を満足することを特徴とする請求項1乃至4および請求項6乃至15のいずれか1項に記載の反射屈折結像光

学系。

- [17] 前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、結像光束を通過させるための開口部を有し、光軸からほぼ等しい距離にある複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項1乃至16のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。
- [18] 前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、前記光軸に関してほぼ回転対称な複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項17に記載の反射屈折結像光学系。
- [19] 第1面の像を第2面上に形成する反射屈折結像光学系において、
前記第1面からの光に基づいて前記第1面の第1中間像を形成する第1結像系と、
2つの凹面反射鏡を有し、前記第1中間像からの光に基づいて前記第1面の第2中間像を形成する第2結像系と、
前記第2中間像からの光に基づいて前記第1面の最終像を前記第2面上に形成する第3結像系とにより構成され、
前記2つの凹面反射鏡のうちの少なくとも1つの凹面反射鏡は、結像光束を通過させるための開口部を有し、光軸からほぼ等しい距離にある複数の位置で支持されていることを特徴とする反射屈折結像光学系。
- [20] 前記第1面の像を前記第2面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系であることを特徴とする請求項19に記載の反射屈折結像光学系。
- [21] 前記第1乃至第3結像系は、前記光軸と共軸に配置されていることを特徴とする請求項19または20に記載の反射屈折結像光学系。
- [22] 前記開口部は前記光軸から外れた位置のみに形成されていることを特徴とする請求項19乃至21のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。
- [23] 前記少なくとも1つの前記凹面反射鏡は長偏球面状の反射面を有することを特徴とする請求項19乃至22のいずれか1項に記載の反射屈折結像光学系。
- [24] 前記長偏球面状の反射面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、反射面の頂点における接平面から高さ y における反射面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）

を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とするとき、以下の数式 (a) で表され、

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] \quad (a)$$

前記円錐係数 κ は、 $-0.75 < \kappa < -0.25$ の条件を満足することを特徴とする請求項 23 に記載の反射屈折結像光学系。

[25] 前記 2 つの凹面反射鏡のうちの少なくとも 1 つの凹面反射鏡は、光軸に関してほぼ回転対称な曲面の一部に対応する有効反射面を有することを特徴とする請求項 1 乃至 24 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系。

[26] 前記第 1 面に設定された所定のパターンからの光に基づいて、前記パターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に投影するための請求項 1 乃至 25 のいずれか 1 項に記載の反射屈折結像光学系を備えていることを特徴とする露光装置。

[27] 請求項 26 に記載の露光装置を用いて前記所定のパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

前記露光工程を経た前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするデバイスの製造方法。

[28] 第 1 面からの光に基づいて前記第 1 面の第 1 中間像を形成する第 1 結像系と、前記第 1 中間像からの光に基づいて前記第 1 面の第 2 中間像を形成する第 2 結像系と、前記第 2 中間像からの光に基づいて前記第 1 面の最終像を前記第 2 面上に形成する第 3 結像系とにより構成される反射屈折結像光学系に用いられる反射鏡であって、

前記第 2 結像系が備える 2 つの凹面反射鏡のうちの少なくとも 1 つの凹面反射鏡であって、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射鏡。

[29] 前記長偏球面状の反射面は、一方の焦点が前記第 1 結像系あるいは前記第 3 結像系の瞳位置またはその近傍に位置し、他方の焦点が前記第 2 結像系の瞳位置またはその近傍に位置するように配置されていることを特徴とする請求項 28 に記載の反射鏡。

[30] 2 つの曲面状の反射鏡と複数の屈折光学素子とを備え、第 1 面の像を第 2 面上において光軸から離れた領域のみに形成する軸外視野型の反射屈折結像光学系に用いられる反射鏡であって、

前記2つの曲面状の反射鏡のうちの少なくとも1つの曲面状の反射鏡であって、長偏球面状の反射面を有することを特徴とする反射鏡。

[31] 前記2つの曲面状の反射鏡と前記複数の屈折光学素子とは、前記光軸と共軸に配置されていることを特徴とする請求項30に記載の反射鏡。

[32] 前記2つの曲面状の反射鏡は、凹面反射鏡であることを特徴とする請求項30または31に記載の反射鏡。

[33] 前記長偏球面状の反射面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、反射面の頂点における接平面から高さ y における反射面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とすると、以下の数式（a）で表され、

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + \kappa) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] \quad (a)$$

前記円錐係数 κ は、 $-0.75 < \kappa < -0.25$ の条件を満足することを特徴とする請求項28乃至32のいずれか1項に記載の反射鏡。

[34] 結像光束を通過させるための開口部を有し、光軸からほぼ等しい距離にある複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項28乃至33のいずれか1項に記載の反射鏡。

[35] 前記光軸に関してほぼ回転対称な複数の位置で支持されていることを特徴とする請求項34に記載の反射鏡。

[36] 前記開口部は前記光軸から外れた位置に形成されていることを特徴とする請求項34または35に記載の反射鏡。

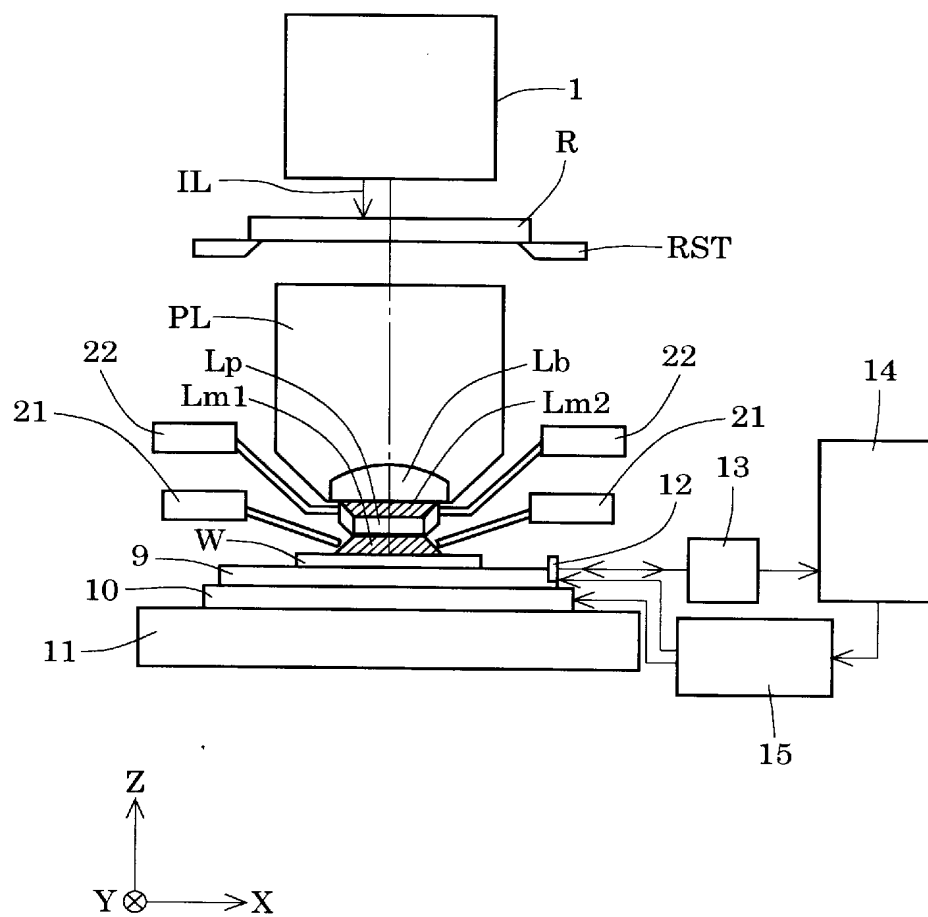
[37] 反射屈折結像光学系に用いられる反射鏡の組品であって、

2つの曲面状の反射鏡を備え、

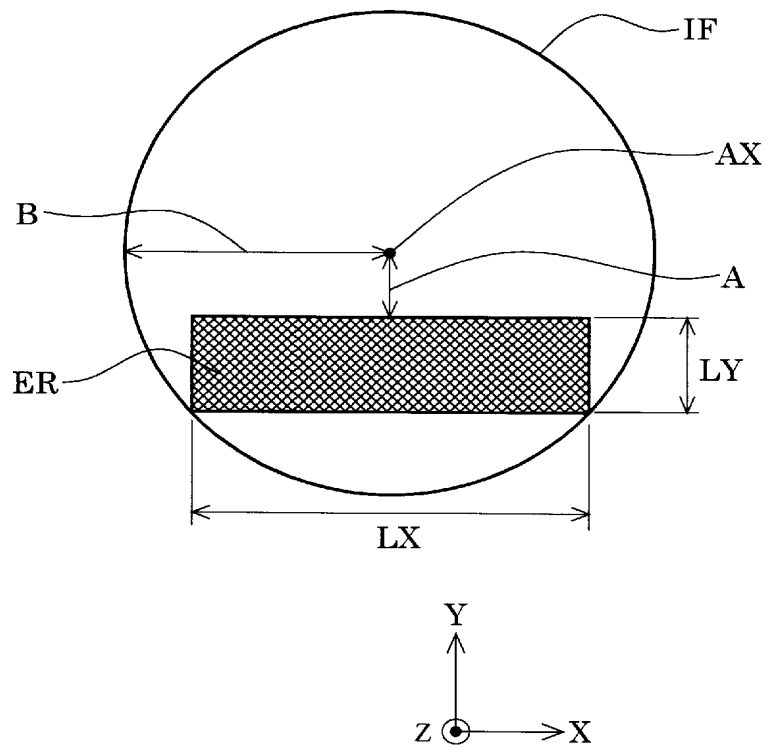
該2つの曲面状の反射鏡は共に長偏球面状の反射面を有することを特徴とする組品。

[38] 前記2つの曲面状の反射鏡は互いに同じ形状の反射面を有することを特徴とする請求項37に記載の組品。

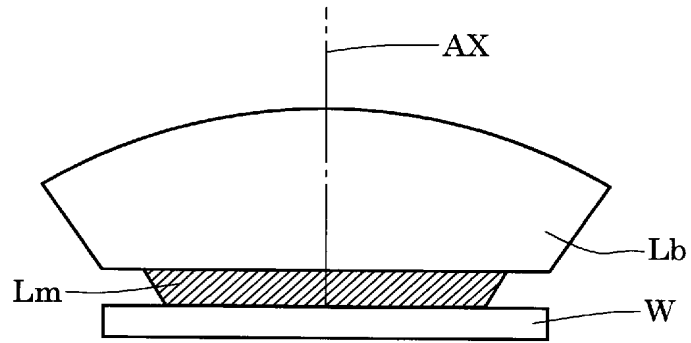
[図1]



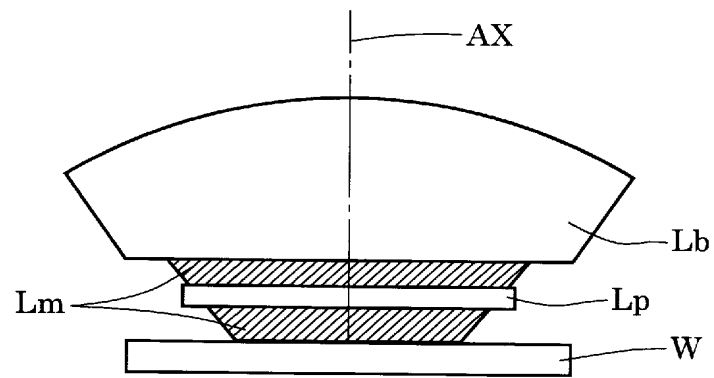
[図2]



[図3]

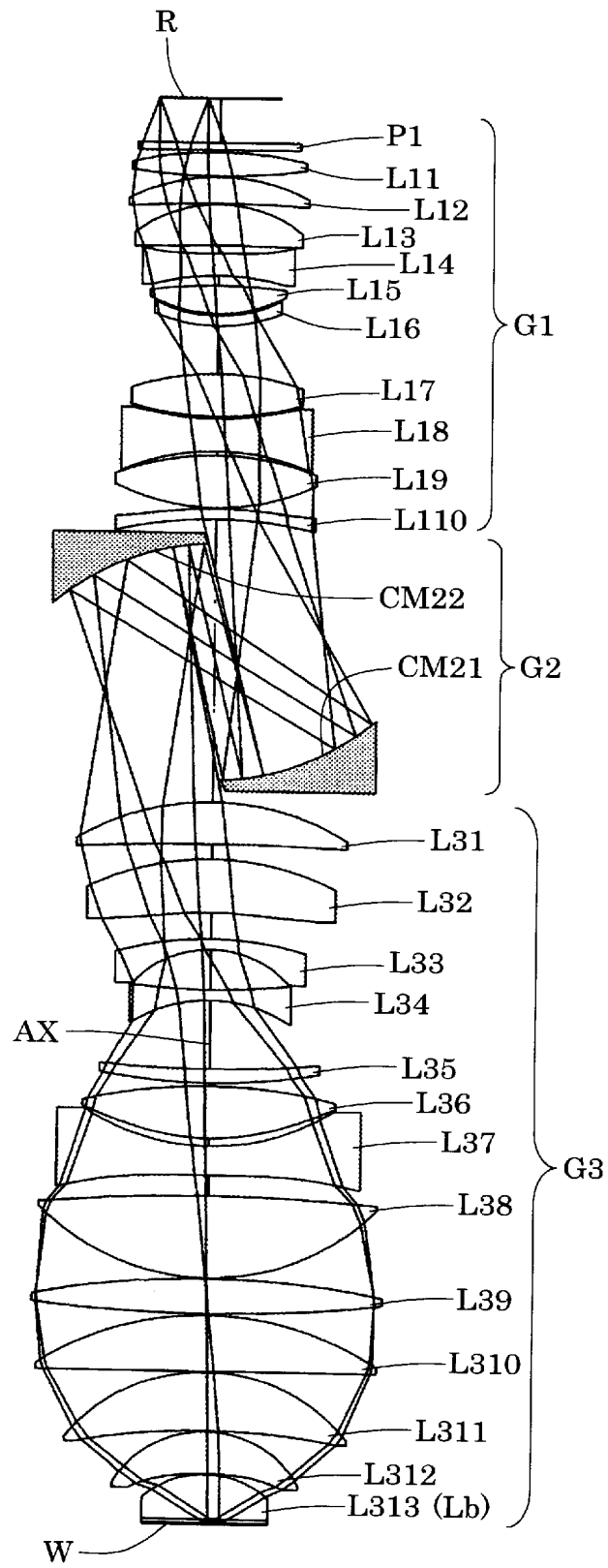


(a)

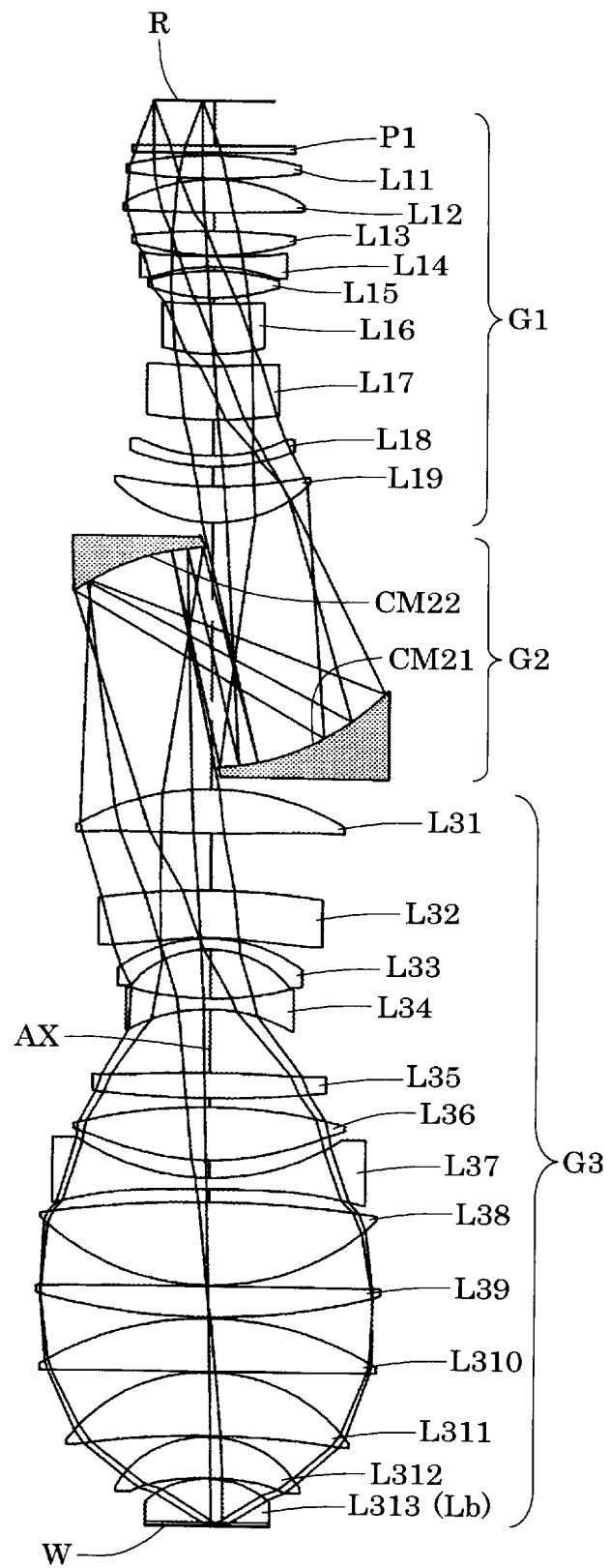


(b)

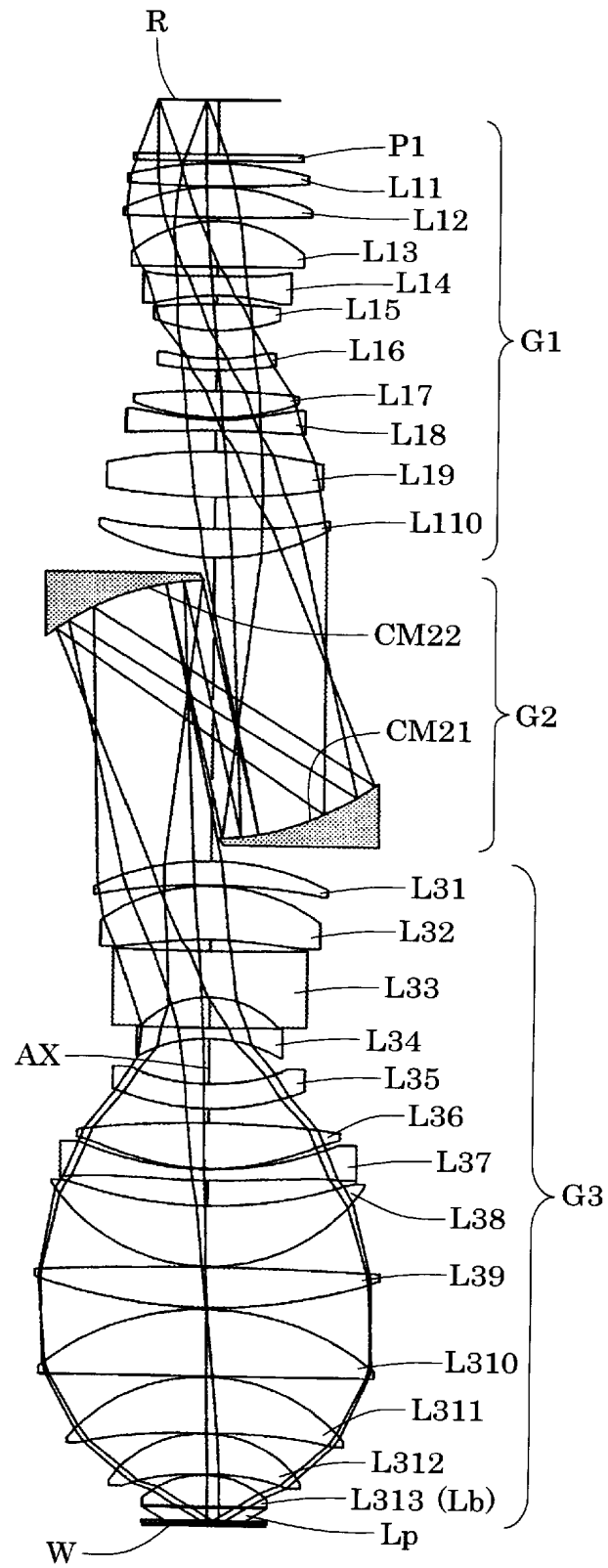
[図4]



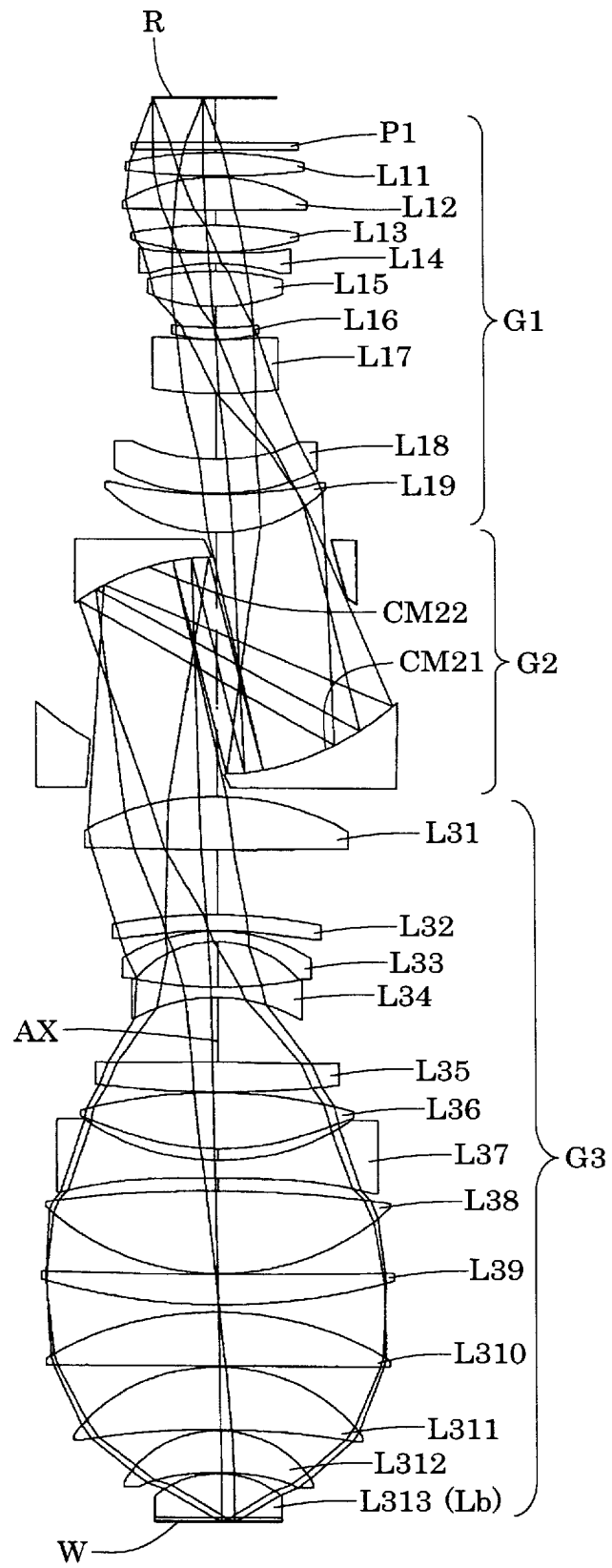
[図5]



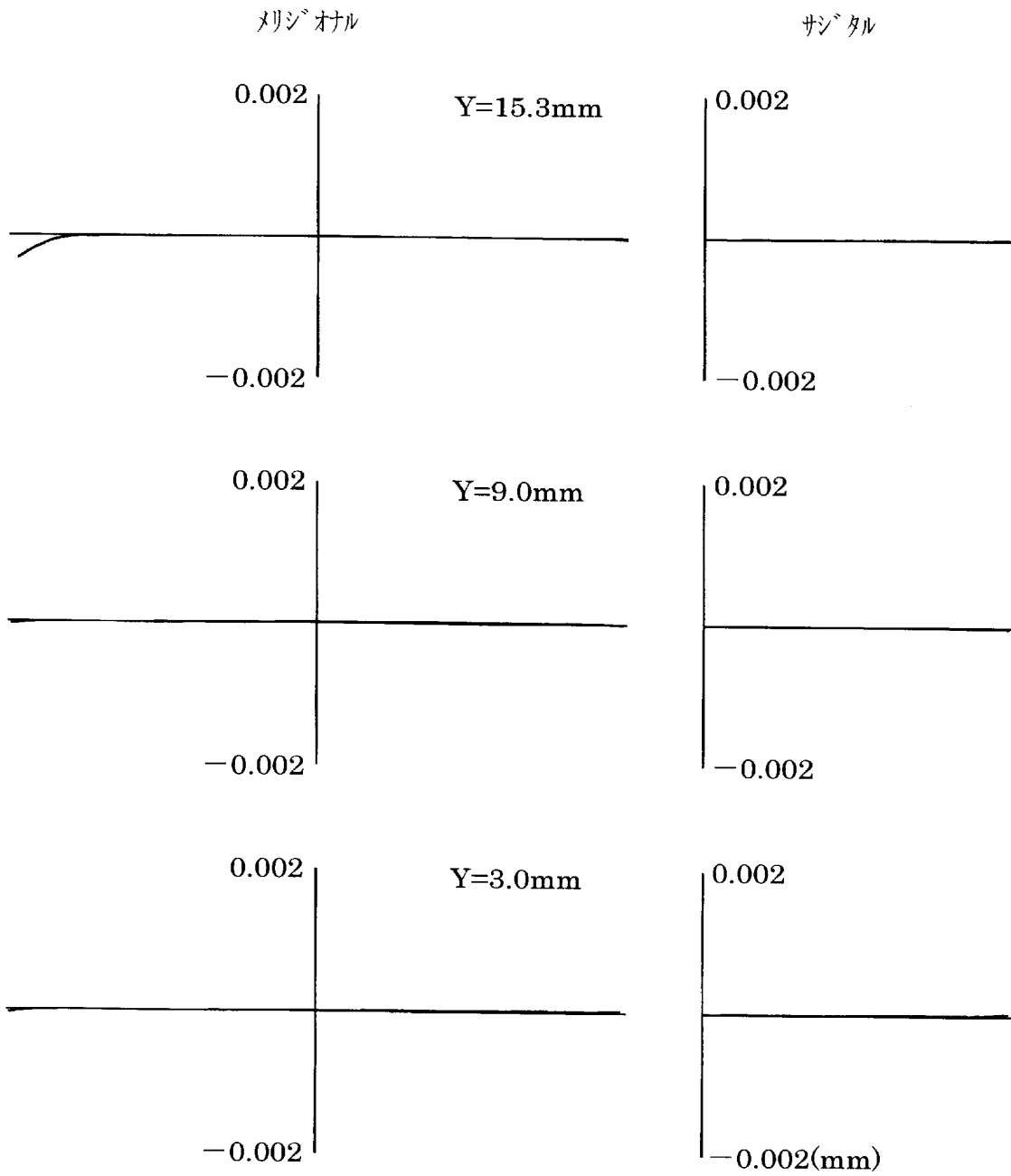
[図6]



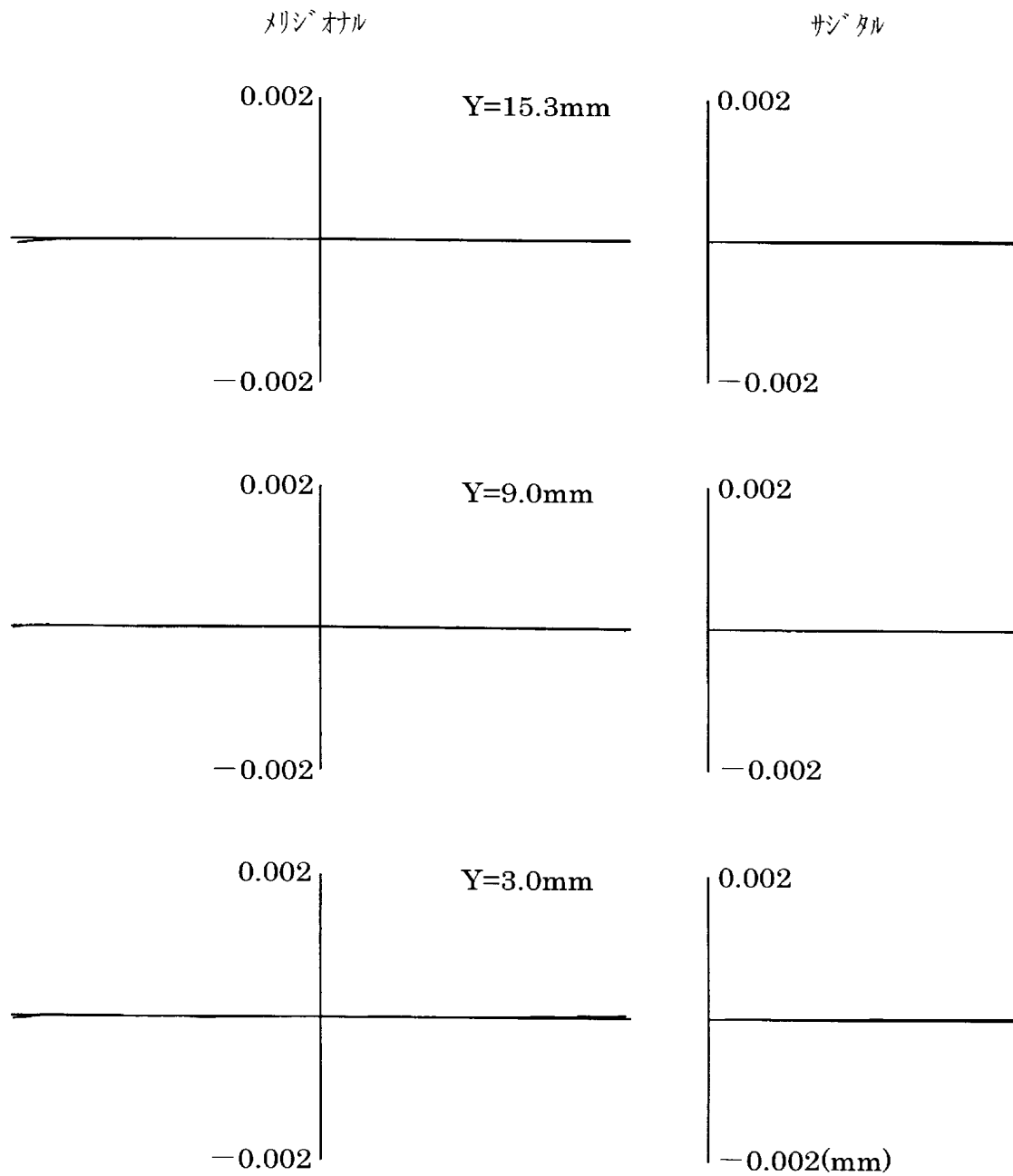
[図7]



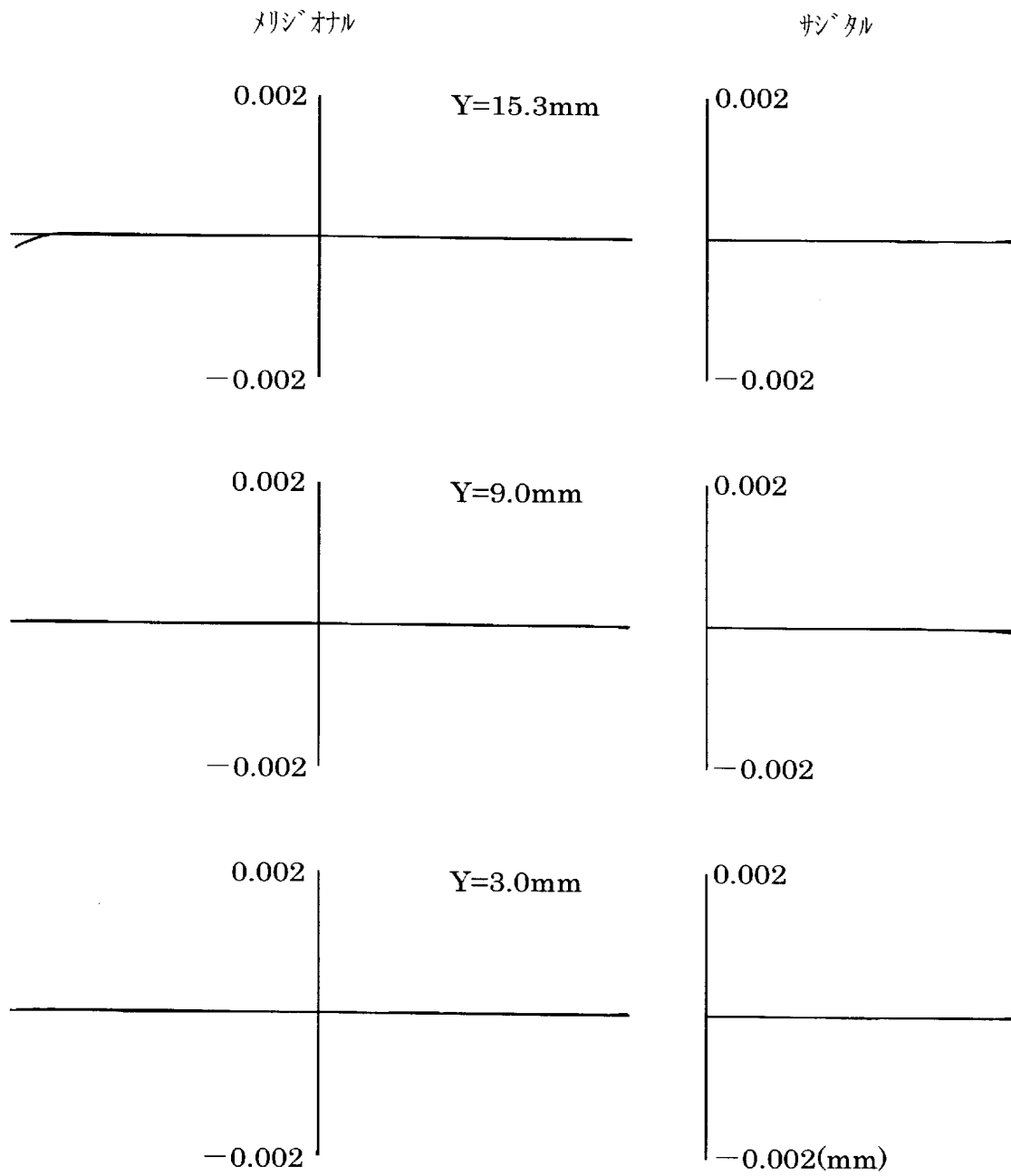
[図8]



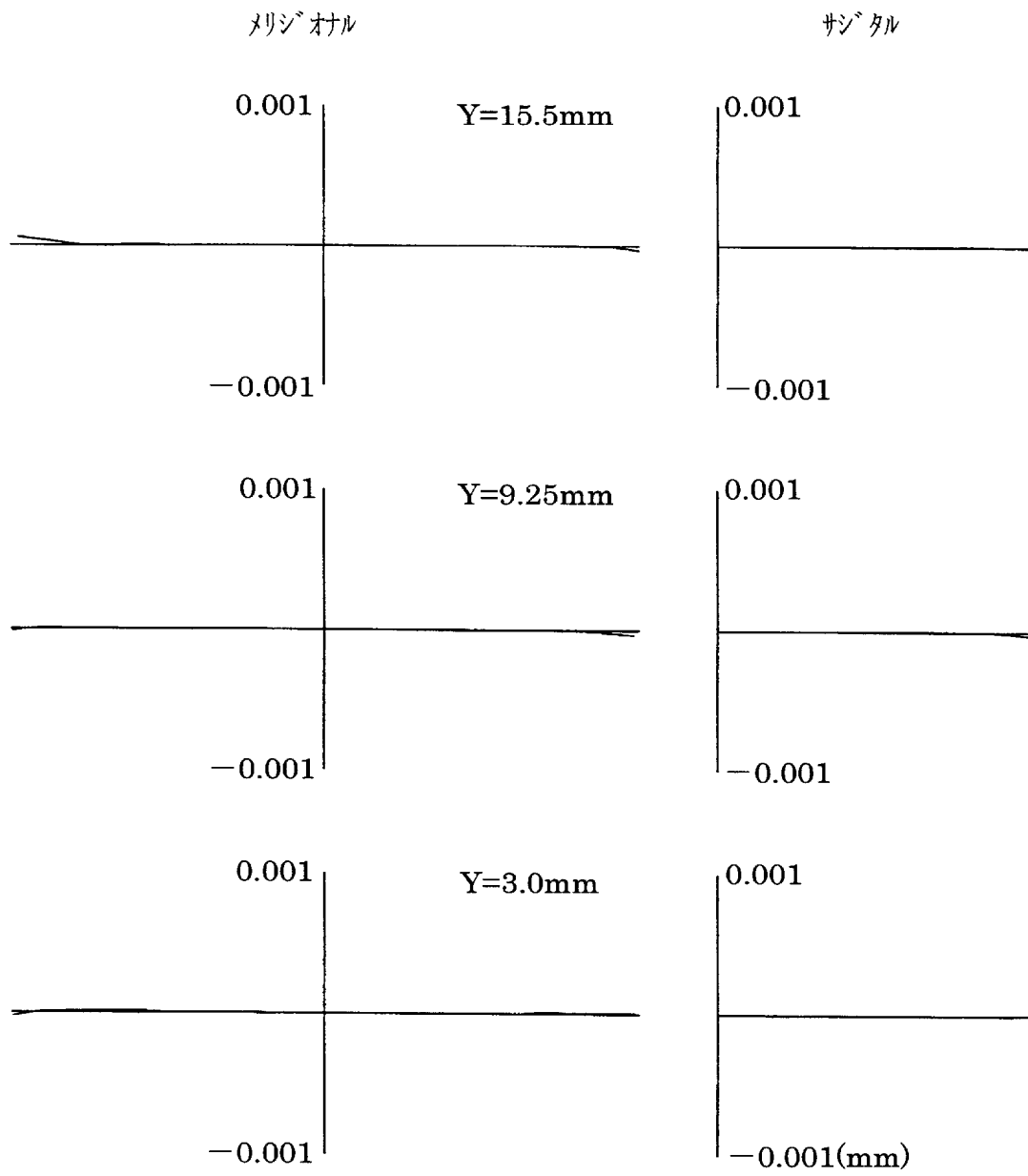
[図9]



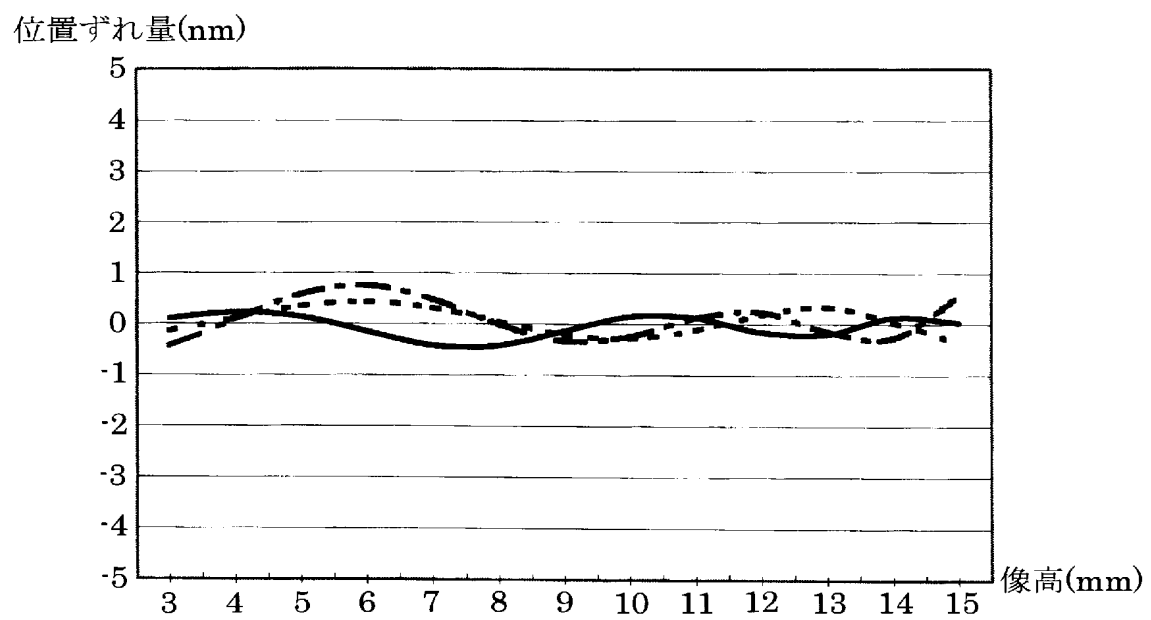
[図10]



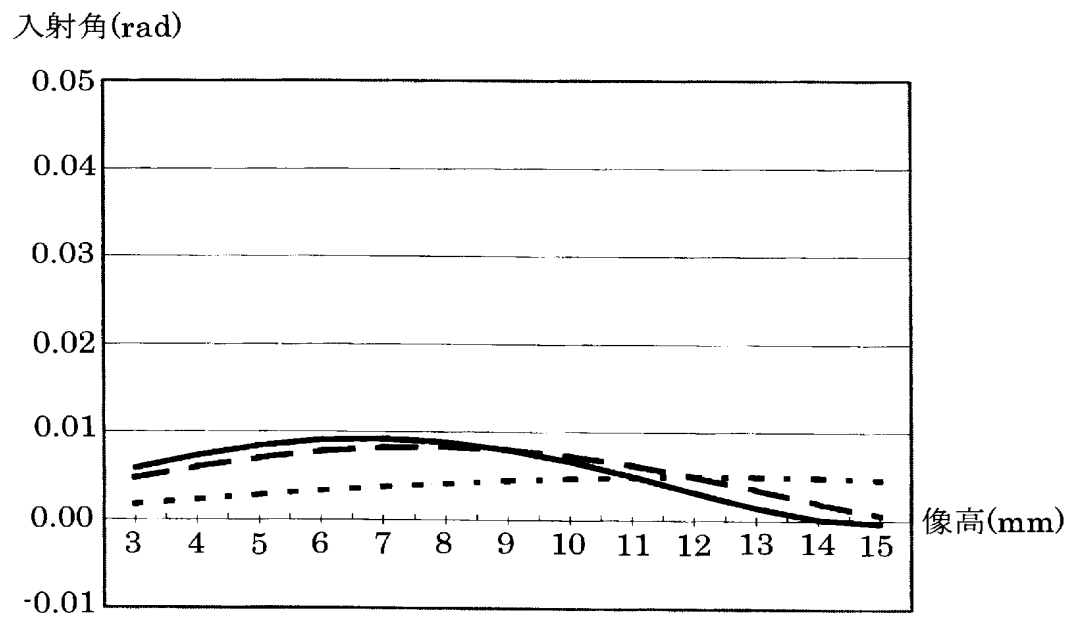
[図11]



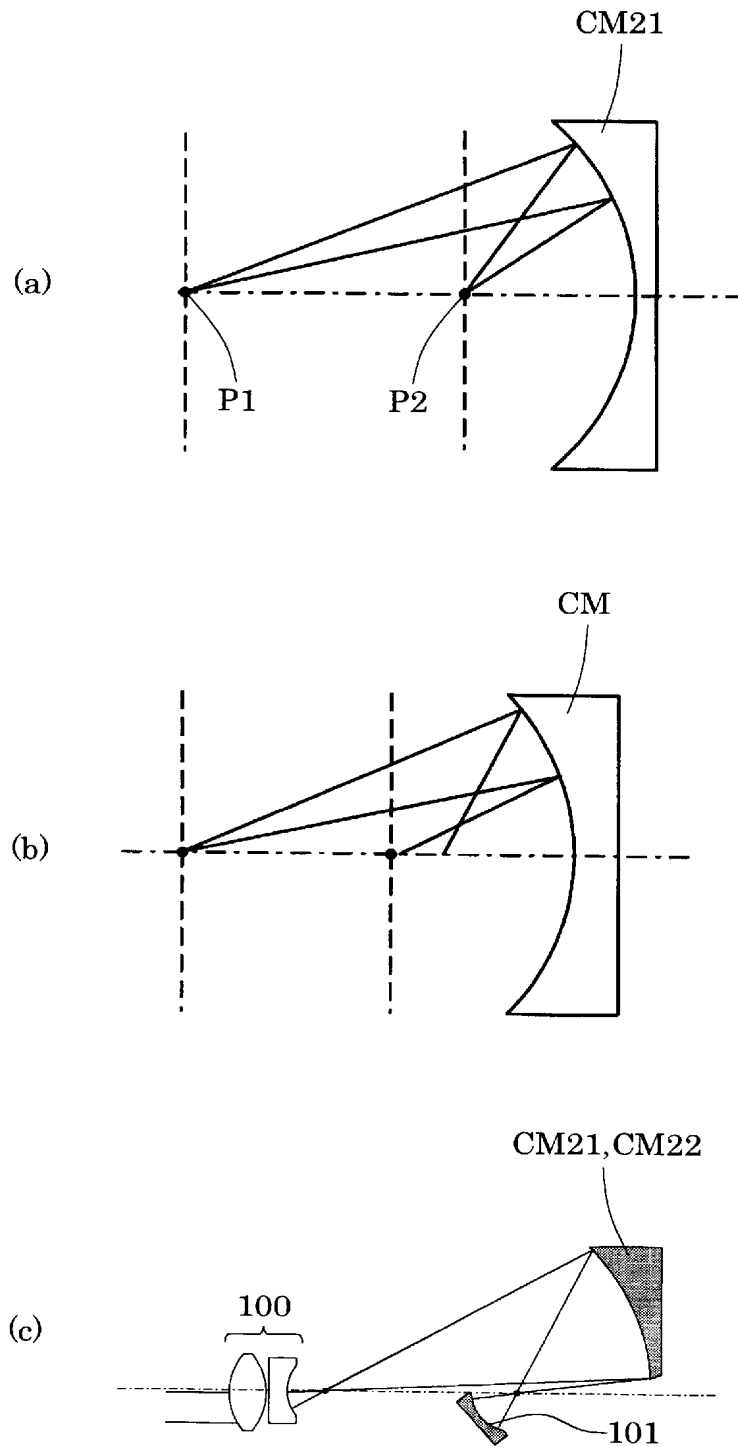
[図12]



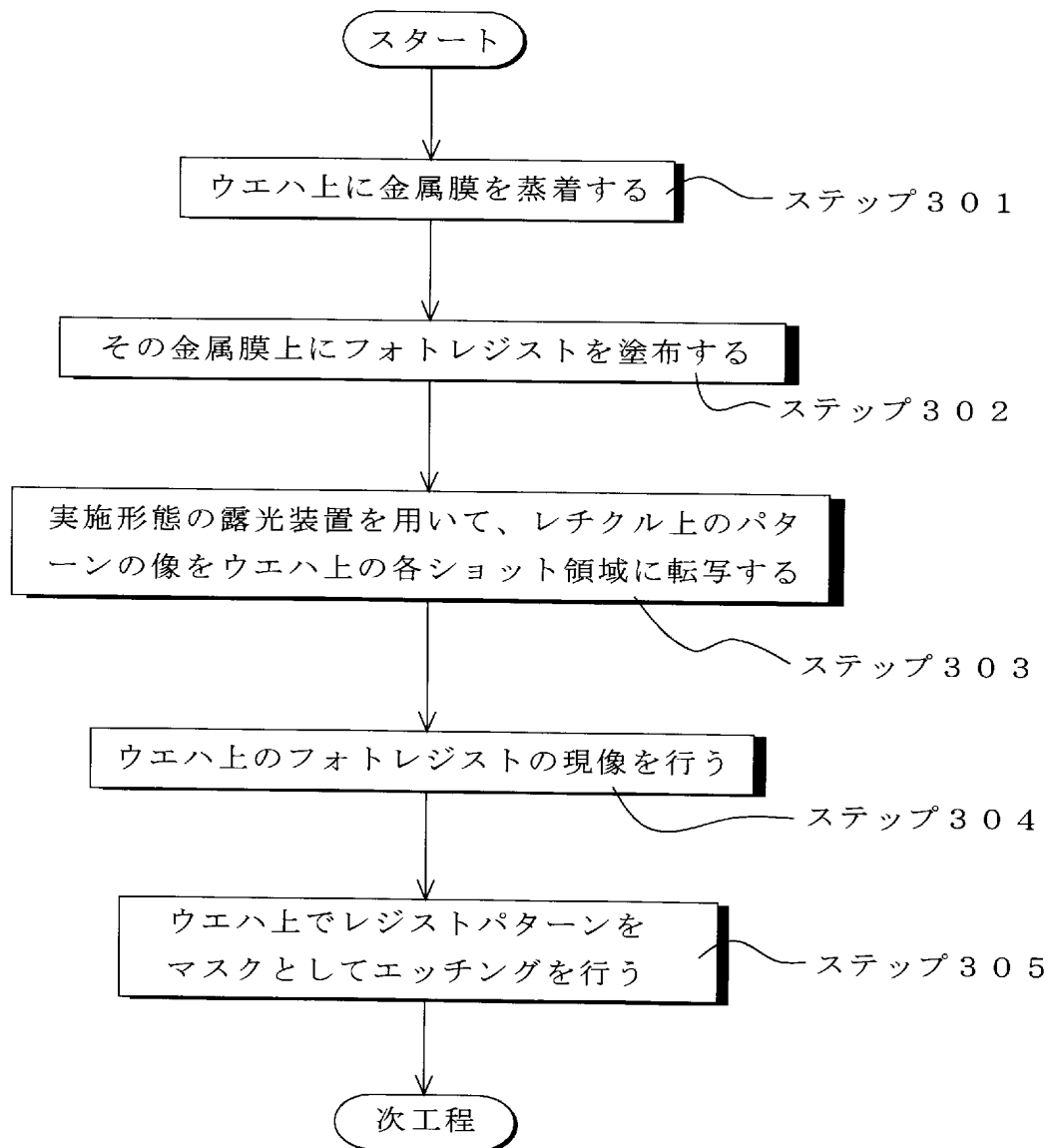
[図13]



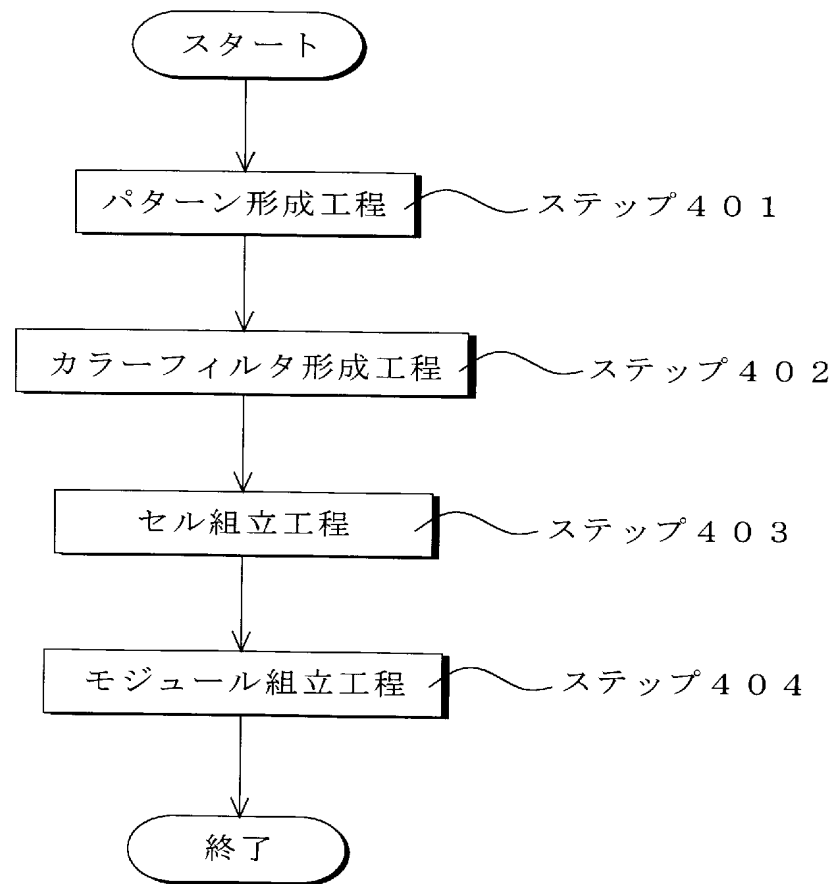
[図14]



[図15]



[図16]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2006/325711

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B17/08(2006.01)i, G02B13/24(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B17/08, G02B13/24, G03F7/20, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2007
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2007	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2007

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2005-233979 A (Nikon Corp.), 02 September, 2005 (02.09.05), Full text; all drawings & WO 2001/59502 A1 & AU 3225701 A	5, 7, 15-19 1-4, 6, 8-14
A	JP 2004-333761 A (Nikon Corp.), 25 November, 2004 (25.11.04), Full text; all drawings & WO 2004/107011 A1 & US 2006/121364 A1 & EP 1630585 A1	1-19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
 "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
 "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
 "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
 "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
 "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
 "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
 "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
23 March, 2007 (23.03.07)

Date of mailing of the international search report
10 April, 2007 (10.04.07)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B17/08(2006.01)i, G02B13/24(2006.01)i, G03F7/20(2006.01)i, H01L21/027(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G02B17/08, G02B13/24, G03F7/20, H01L21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 7 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 7 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 7 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	J P 2 0 0 5 - 2 3 3 9 7 9 A (株式会社 ニコン) 2 0 0 5 . 0 9 . 0 2 , 全文, 全図 & W O 2 0 0 1 / 5 9 5 0	5, 7, 1 5 - 1 9
A	2 A 1 & A U 3 2 2 5 7 0 1 A	1 - 4, 6, 8 - 1 4
A	J P 2 0 0 4 - 3 3 3 7 6 1 A (株式会社 ニコン) 2 0 0 4 . 1 1 . 2 5 , 全文, 全図 & W O 2 0 0 4 / 1 0 7 0 1 1 A 1 & U S 2 0 0 6 / 1 2 1 3 6 4 A 1 & E P 1 6 3 0 5 8 5 A 1	1 - 1 9

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

2 3 . 0 3 . 2 0 0 7

国際調査報告の発送日

1 0 . 0 4 . 2 0 0 7

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

瀬川 勝久

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 7 1

2 V

9 1 2 0